ИЗДАТЕЛЬСТВО
«СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ»

ЭНЦИКЛОПЕДИИ СЛОВАРИ СПРАВОЧНИКИ

НАУЧНЫЙ СОВЕТ ИЗДАТЕЛЬСТВА

А. П. АЛЕКСАНДРОВ, А. А. АРЗУМАНЯН, А. В. АРЦИХОВСКИЙ, Н. В. БАРАНОВ, А. А. БЛАГОНРАВОВ, Н. Н. БОГОЛЮБОВ, Б. А. ВВЕДЕНСКИЙ (председатель Научного Совета), Б. М. ВУЛ, Г. Н. ГОЛИКОВ, И. Л. КНУНЯНЦ, Ф. В. КОНСТАНТИНОВ, Б. В. КУКАРКИН, Ф. Н. ПЕТРОВ, В. М. ПОЛЕВОЙ, А. И. РЕВИН (заместитель председателя Научного Совета), Н. М. СИСАКЯН, А. А. СУРКОВ, Л. С. ШАУМЯН (заместитель председателя Научного Совета)

МОСКВА · 1965

ЭНЦИКЛОПЕДИЯ
СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКИ

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОИЗВОДСТВА И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА

Главные редакторы
А. И. БЕРГ и В. А. ТРАПЕЗНИКОВ

ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ

О. И. АВЕН (отв. секретарь), Д. И. АГЕЙКИН, Д. М. БЕРКОВИЧ (зам. главного редактора), В. А. ВЕНИКОВ, А. А. ВОРОНОВ, М. А. ГАВРИЛОВ, Д. В. ЗЕРНОВ, В. А. ИЛЬИН, А. И. КИТОВ, Б. Я. КОГАН, А. И. КОСТОУСОВ, Н. А. КРИНИЦКИЙ, Г. А. ЛЕВИН, А. Я. ЛЕРНЕР (зам. главного редактора), М. Г. ЛОЗИНСКИЙ, В. Л. ЛОССИЕВСКИЙ, Ю. Е. МАКСАРЕВ, А. А. МАСЛОВ, В. Э. НИЗЭ (отв. секретарь), Б. Н. ПЕТРОВ, В. И. ПОПКОВ, М. Е. РАКОВСКИЙ, Л. Д. РОЗЕНБЕРГ, Б. С. СОТСКОВ, П. В. ТИМОФЕЕВ, В. Б. УШАКОВ, А. А. ФЕЛЬДБАУМ, В. С. ФРОЛОВ, А. А. ХАРКЕВИЧ, Я. З. ЦЫПКИН, А. Б. ЧЕЛЮСТКИН, Ю. А. ШРЕЙДЕР

4

Телекомандование — Ячейки стандартные

ИЗДАТЕЛЬСТВО «СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ»

А224
6(03)
А22

РЕДАКТОРЫ ОТДЕЛОВ

Теория автоматического управления — д. т. н., проф. Я. З. ЦЫПКИН. Автоматические регуляторы — д. т. н., проф. А. А. ВОРОНОВ. Элементы автоматики — чл.-корр. АН СССР Б. С. СОТСКОВ. Автоматический контроль — д. т. н. Д. И. АГЕЙКИН. Теория устройств релейного действия — чл.-корр. АН СССР М. А. ГАВРИЛОВ. Системная автоматика — д. т. н., проф. В. А. ВЕНИКОВ. Автоматизированный электропривод — д. т. н. А. Б. ЧЕЛЮСТКИН. Гидропривод в автоматических устройствах — д. т. н., проф. В. Н. ПРОКОФЬЕВ. Телемеханика — д. т. н., проф. В. А. ИЛЬИН. Цифровые вычислительные машины — д. т. н. А. И. КИТОВ. Программирование — к. ф.-м. н. Н. А. КРИНИЦКИЙ. Аналоговые вычислительные машины — д. т. н. Б. Я. КОГАН, д. т. н. В. Б. УШАКОВ. Техническая кибернетика — д. т. н., проф. А. Я. ЛЕРНЕР, д. т. н., проф. А. А. ФЕЛЬДБАУМ, к. ф.-м. н., доцент Ю. А. ШРЕЙДЕР. Теория информации — акад. А. А. ХАРКЕВИЧ. Электронные и ионные приборы и преобразователи — чл.-корр. АН СССР П. В. ТИМОФЕЕВ. Полупроводниковые приборы — доцент А. А. МАСЛОВ, инж. А. Ф. ТРУТКО. Электронные схемы — проф. Г. А. ЛЕВИН. Индукционный нагрев — д. т. н. М. Г. ЛОЗИНСКИЙ. Диэлектрический нагрев — д. т. н., проф. А. В. НЕТУШИЛ. Электронно-ионная технология — чл.-корр. АН СССР В. И. ПОПКОВ. Ультразвуковая техника — д. т. н., проф. Л. Д. РОЗЕНБЕРГ. Электроэрозионная обработка — к. т. н. А. Л. ЛИВШИЦ. Словарь иностранных терминов: редактор — к. т. н. О. И. АВЕН; англ. — О. М. БЛАНН (O. M. BLUNN); франц. — инж.-докт., проф. В. БРОЙДА (V. BROÏDA); нем. — инж., канд. н. Л. БРЕККЛЬ (L. BRÖCKL), инж. Х. ВАЙХАРДТ (H. WEICHARDT).

СОТРУДНИКИ РЕДАКЦИИ

Зав. редакцией — к. т. н. Д. М. БЕРКОВИЧ,
ст. научные редакторы — к. т. н. М. Д. БОЧАРОВА,
инж. А. В. ЯРОЦКИЙ, научный редактор — В. И. БАРАНОВ,
мл. редактор — Е. П. ЗАБЕЛИНА.

Ст. литературный редактор — Л. С. КОВАЛЬСКАЯ.
Редактор-библиограф — В. Г. СОКОЛОВА.
Редакция словника — В. Л. КИСЛОВ.
Отдел комплектования — К. И. АЛЕШИНА.
Художественный редактор — Н. И. КУЛИКОВА.
Технический редактор — В. А. ГРИГОРЬЕВА.
Корректорская — М. В. АКИМОВА,
Ю. А. ГОРЬКОВ, Л. Н. СОКОЛОВА.

Указатель иностранных терминов: англ. — Л. Д. ЩЕГЛОВА;
франц. — К. М. РОЖКО, Г. М. КУДИСОВА; нем. — Н. Н. ЕРЕМИНА.
Предметный указатель — А. Б. ДМИТРИЕВ.

255044
Центральная научная
БИБЛИОТЕКА
Академии наук Киргизской ССР

Т

ТЕЛЕКОМАНДОВАНИЕ (instruction by remote control; télétransmission d'ordres, transmission d'ordres à distance; Fernbefehl) — редко применяемый термин телемеханики, синоним *телеуправления*.

ТЕЛЕКОНТРОЛЬ (supervisory control; contrôle à distance; Fernkontrolle) — автоматич. контроль состояния объектов, осуществляемый с помощью средств *телемеханики*. Включает *телеизмерение* и *телесигнализацию*.

ТЕЛЕМЕТРИЯ (telemetry; télémètrie; Fernmessung) — см. *Телеизмерение*.

ТЕЛЕМЕХАНИЗАЦИЯ (tele-automation; équipement en vue d'opérations à distance; Anwendung den Fernwirktechnik) — оснащение технич. объектов средствами телемеханики с целью управления объектами на расстоянии и объединения их в единые комплексы с централизованным управлением. Т. может быть полной или частичной, в зависимости от ф-ций, выполняемых данной системой. См. *Телемеханика*.

ТЕЛЕМЕХАНИКА (remote-control; téchnique d'opérations à distance, télémécanique; Fernwirktechnik) — область науки и техники, охватывающая теорию и технич. средства автоматич. передачи на расстояние команд управления и информации о состоянии объектов. Термин «Т.» был предложен в 1905 франц. ученым Э. Бранли для области науки и техники управления на расстоянии механизмами и машинами. Т. позволяет осуществить координацию работы пространственно разнесенных агрегатов, машин, установок и вместе с каналами связи связать их в единую систему управления на расстоянии производств. или др. процессами. Система управления на расстоянии сосредоточ. объектами (рис.) состоит



Блок-схема системы управления на расстоянии сосредоточ. объектами.

из объектов управления, датчиков, органов управления, устройств местной автоматики, системы Т. и управляющей машины или оператора. Система управления на расстоянии может не иметь устройств местной автоматики и управляющей машины и тогда не будет относиться к автоматич. системам. Частный случай системы Т.— система телеконтроля, осуществляющая только передачу информации с объектов. В полностью *телеавтоматической системе* все ф-ции управления на расстоянии выполняются управляющей машиной.

Средства Т. совместно со средствами автоматики позволяют осуществить управление на расстоянии машинами и установками без дежурного персонала на местных объектах и объединить их в единые производств. комплексы с централизов. управлением (энергосистемы, ж.-д., воздушный и водный транспорт, нефтепромыслы, магистральные трубопроводы, крупные заводы, карьеры и шахты, ирригац. системы, коммунальное х-во городов и др.). По выполняемым ф-циям системы Т. разделяются на системы *телеуправления*, *телесигнализации*, *телеизмерения* и телерегулирования (см. также *Телемеханическая система*).

В системах ТУ с пункта управления передается часто большое количество элементарных команд типа «включить», «выключить» («да», «нет»), предназначенных для различных объектов (приемников информации). В системах ТС на пункт управления поступают такие же элементарные сигналы о состоянии объектов, типа «да», «нет». При ТИ (ТР) передаётся величина измеряемого (управляемого) параметра со спектром частот, начиная от нуля, с малой погрешностью, порядка % или его долей.

Суммарное количество различных сигналов ТУ, ТС и ТИ в одной системе Т. на ж. д., нефтепромыслах и трубопроводах уже сейчас достигает тысяч, а число элементов аппаратуры — многих десятков тысяч.

Информация управления, к-рую системы Т. передают на расстояние, предназначается для оператора или управляющей машины на одном конце системы и для объектов управления — на другом. Информацию необходимо представлять в виде, удобном для потребителя. Поэтому в систему Т. включаются устройства не только для передачи информации, но и для распределения и представления ее в виде, удобном для восприятия оператором, или ввода в управляющую машину. Это относится и к устройствам сбора, предварит. обработки информации ТИ и ТС.

Осн. научные проблемы Т.: эффективность, достоверность передачи информации, оптимизация структур и технич. средств. Значение проблем Т. возрастает с увеличением количества объектов, объема передаваемой информации и протяженности каналов связи, к-рые

достигают тысяч *км*. Проблема эффективности передачи информации в Т. заключается в экономном использовании каналов связи путем их уплотнения, т. е. в сокращении количества каналов и более рациональном их использовании. Проблемы достоверности передачи — в устранении потерь информации при ее передаче из-за воздействия помех (см. *Помехоустойчивость телеуправления* и *Помехоустойчивость телеизмерения*) и в обеспечении аппаратурной надежности (см. *Надежность системы телемеханики*). Оптимизация структуры — в выборе схемы каналов связи и аппаратуры системы Т., при к-рой обеспечиваются макс. надежность и эффективность передачи информации. Выбор производится на основе обобщенных критериев. Значение оптимизации структуры возрастает с усложнением системы и с переходом к сложным системам с рассредоточ. объектами и с многоступенчатым управлением.

Теоретич. базу Т. составляют: теория информации, теория помехоустойчивости, статистич. теория связи, теория кодирования, теория структур, теория надежности. Эти теории и их приложения развиваются и разрабатываются с учетом специфики Т. Так, в Т. в основном не должно иметь место запаздывание, превышающее максимально допустимую длительность элемента сообщения ТУ и ТС. При этом статистич. кодирование в данном канале, разрабатываемое в теории информации, в Т. не реализуется. Наиболее сложные и комплексные проблемы возникают при синтезе больших систем управления на расстоянии, включая телеавтоматич. системы. Для синтеза таких систем еще в большей степени необходим комплексный подход на основе обобщенных критериев, учитывающих условия передачи и оптим. переработку информации. Это составляет проблему оптим. управления на расстоянии.

Для совр. Т. характерно развитие методов и технич. средств в самых разнообразных направлениях. Непрерывно расширяется количество областей применения систем Т. и объем внедрения в каждой из них. При этом не только возрастают потребности в системах с большой дальностью действия, но и в аппаратуре Т. с весьма малой дальностью действия — порядка неск. сотен *м*, но с большим числом объектов ТУ, ТС, ТИ. Это относится ко многим пром. предприятиям, на к-рых при введении централизов. управления нерационально прокладывать большое количество контрольного кабеля между цехами или отдельными объектами. Экономически более целесообразно заменить, даже при расстояниях порядка сотен *м*, неск. контрольных кабелей — одним, и применить систему Т. с временны́м или частотным разделением сигналов. На протяжении неск. десятилетий, начиная с первой пол. 1930-х гг., объем внедряемых средств Т. возрастает примерно в 10 раз каждые 10 лет. Ниже приводятся сведения об областях применения Т.

Э н е р г е т и к а. Устройства Т. используются в территориально разобщенных объектах на всех ступенях произ-ва и распределения электроэнергии для управления: агрегатами (в пределах больших гидроэлектростанций), электроснабжением пром. предприятий, электрич. станциями и подстанциями энергосистемы, энергосистемами в энергообъединениях. Для энергетики характерно наличие неск. ступеней управления, входящих в иерархич. систему с рядом пунктов управления различного ранга. Электрич. станции и подстанции управляются с диспетчерского пункта энергосистемы; последние образуют объединенные энергосистемы, к-рые, в свою очередь, входят в более крупные энергообъединения. В связи с этим на каждом пункте управления выполняются ф-ции локального и центр. характера. К первым относится выработка управляющих воздействий для объектов, обслуживаемых данным пунктом, в результате переработки информации, поступающей с объектов и с др. пунктов управления. Ко вторым — передача информации транзитом от нижестоящих к вышестоящим пунктам управления без обработки или с частичной обработкой информации (напр., после суммирования), при этом осуществляется ретрансляция сигналов ТИ и ТС с нижестоящего пункта управления на вышестоящий.

Большинство объектов энергосистемы относится к крупным, сосредоточенным. Они расположены на больших расстояниях, измеряемых сотнями, а иногда и тысячами *км*. Для передачи информации выделяются, как правило, стандартные телеграфные каналы с полосой пропускания 140 *гц*. Передача осуществляется по ВЧ каналам связи по линиям электропередач, радиорелейным линиям, междугородным линиям.

Для контроля и управления электрич. станциями и подстанциями энергосистемы требуется сравнительно небольшое количество информации. На этой ступени применяются устройства ТУ—ТС с временны́м разделением сигналов, одноканальные устройства частотной и частотно-импульсной систем ТИ, работающие по выделенным каналам связи; для работы на малые расстояния (до 20 *км*), в основном по кабельным линиям связи,— устройства телеизмерит. системы интенсивности. В связи с укрупнением энергообъединений для ТУ требуется передача больших потоков информации, а расстояния между контролируемыми и диспетчерским пунктами резко возрастают. Высокая стоимость каналов связи на дальние расстояния привела к использованию комплексных систем ТУ, ТС и ТИ с временны́м разделением, обеспечивающих передачу дискретной и непрерывной информации по одному каналу связи. Передача информации с контролируемых пунктов осуществляется комбинированными многоканальными кодо-импульсными системами ТИ и ТС, причем по любому из каналов ТИ можно передавать сигналы состояния двухпозиц. объектов или производственно-статистич. кодовой информации. Комбинированные системы допускают передачу за один цикл продолжительностью в неск. сек. от 5 до 10 измерений и возможность замены каждого из них на передачу 7—8 сигналов о состоянии двухпозиц. объектов или на соответствующее число разрядов двоичного кода.

Для улучшения качества отпускаемой энергии, повышения надежности работы энергообъединений и уменьшения потерь требуется дальнейшее усложнение диспетчерского управления. Эти задачи можно решить путем широкого внедрения вычислит. техники на различных ступенях управления. Это требует применения спец. устройств для обработки телемеханич. информации и ввода ее в ЦВМ. При работе ЦВМ на неск. ступенях иерархич. управления системы Т. должны обеспечивать автоматич. обмен информацией между вычислит. машинами, установленными на электростанциях и соответствующих диспетчерских пунктах.

Н е ф т я н а я и г а з о в а я п р о м ы ш л е н н о с т ь. Устройства Т. используются для централизов. контроля и управления нефтяными или газовыми скважинами, нефтесборными пунктами, компрессорными и др. установками на нефтяном или газовом промыслах. Количество только нефтяных скважин, подлежащих телемеханизации, составляет многие десятки тысяч. Специфика технологич. процессов добычи, первичной обработки и транспорта нефти и газа состоит в непрерывности и автоматичности этих процессов, не требующих при норм. режиме вмешательства человека. Средства Т. позволяют перейти с 3-сменного обслуживания скважин и др. объектов на односменное, с дежурством аварийной бригады в вечернюю и ночную смены. С введением телемеханизации часто проводится укрупнение нефтепромысла; централизованно управляются до 360—500 скважин, рассредоточенных на площади от неск. $км^2$ до многих десятков $км^2$. На каждой нефтескважине (контролируемом пункте) необходимо иметь 1—3 двухпозиц. объекта ТУ, 1—4 двухпозиц. объекта ТС по вызову, 1—3 ТИ по вызову и 1—2 аварийных сигнала. Количество двухпозиц. ТУ, ТС и ТИ на каждой компрессорной станции, нефтесборном пункте и др. установках достигает многих десятков. Используются специализиров. системы Т. для рассредоточ. объектов с избиранием исполнит. пункта одночастотным (C_n^1) или двухчастотным кодом (C_n^2 или A_n^2). Время передачи сигнала ТУ, ТС или ТИ — неск. сек. Сигналы передаются обычно по спец. стальной 3—4-*мм* двухпроводной линии с кустовой структурой. Есть тенденция использовать силовую распределит. сеть как канал связи. Проводятся работы по объединению нефтепромыслов в производств. комплексы с вычислит. и управляющими машинами для поддержания оптим. режима нефтяного месторождения и объектов на промыслах. Средства автоматики и Т. позволяют изменить и упростить технологич. процессы на нефтепромыслах, что дает большой экономич. эффект, особенно для вновь строящихся промыслов. Газовые скважины требуют примерно такого же или неск. большего суммарного объема сигналов ТУ, ТС и ТИ. Количество газовых скважин на одном газовом промысле, как правило, значительно меньшее. В 1964 более 50% нефти в СССР добывалось на телемеханизиров. скважинах.

М а г и с т р а л ь н ы е т р у б о п р о в о д ы. Устройства Т. используются для централизов. контроля и управления объектами газопроводов, нефтепроводов и продуктопроводов. На магистр. трубопроводах организуют службы районных и центр. диспетчеров. К первым относят объекты ТУ, ТС и ТИ на отводах трубопровода, на байпасных линиях на переходах через реки и ж. д., объекты катодной защиты, насосных и компрессорных станций (краны, задвижки, компрессоры, насосы и т. п.). Участок районного диспетчера составляет 120—250 *км*, напр. между соседними насосными и компрессорными станциями. Каждый пункт ТК или ТУ с задвижками, отсекателями или кранами для 1—3 «ниток» трубопровода имеет 0—3 двухпозиц. объекта ТУ, 2—6 двухпозиц. объекта ТС, 1—6 объекта ТИ по вызову и аварийный сигнал. Часто прокладывается неск. «ниток» трубопровода параллельно. Насосная или компрессорная станция имеет до 10 двухпозиц. объектов ТУ, до 40 двухпозиц. объектов ТС и до 12 объектов ТИ. Газопроводы требуют неск. меньшего объема сигналов Т. Для центр. диспетчера передаются важнейшие параметры ТИ и ТС с насосных или компрессорных станций, а также с отдельных линейных пунктов. Ф-ции ТУ (оперативного) выполняются центр. диспетчером только в том случае, если они не поручены районному диспетчеру. Наблюдается тенденция к сокращению объектов ТУ с передачей этих ф-ций устройствам местной автоматики, к переходу на централизов. управление без службы районного диспетчера или с сокращением ее ф-ций. На центр. диспетчерском пункте применяются цифровые и управляющие машины для оптимизации режима и для управления трубопроводом. Сигналы ТУ, ТС и ТИ передаются с помощью специализиров. частотных, временны́х и комбинир. систем Т. для рассредоточенных объектов. Применяются единые (для центр. и районной служб) и раздельные системы. Время передачи сигнала ТУ, ТС, ТИ составляет неск. сек. Для передачи сигналов используются радиорелейные и кабельные магистральные каналы связи (центр. диспетчерская служба) и воздушные стальные линии (районная диспетчерская служба).

Х и м и ч е с к а я п р о м-с т ь, м е т а л л у р г и я, м а ш и н о с т р о е н и е. На крупных пром. комбинатах телемеханич. устройства передают оперативную и производственно-статистич. информацию как для управления отдельными произ-вами (технологич. цехи, энергохозяйство), так и для управления всем комбинатом. При расстояниях между контролируемыми пунктами и пунктом управления 0,5—2 *км* средства Т. успешно конкурируют с системами дистанц. передачи и дают экономию за счет сокращения длины кабеля. Для пром. предприятий характерно наличие крупных сосредоточ. и рассредоточ. объектов. К первым относятся электроподстанции, компрессорные и насосные станции, технологич. цеха; ко вторым — объекты, расположенные по одному или небольшими группами (задвижки газо-, водо-, пароснабжения и т. п.). При сосредоточ. объектах для передачи дискретной информации широкое распространение получили циклич., бесконтактные системы ТУ—ТС. Эффективно применение устройств с древовидным каналом связи, когда одно устройство на пункте управления обслуживает ряд контролируемых пунктов. Для рассредоточ. объектов используются устройства ТУ—ТС с частотным или частотно-временны́м разделением сигналов. Они могут обслуживать неск. десятков контролируемых пунктов. Непрерывная информация передается устройствами телеизмерит. системы интенсивности, время-импульсными или кодо-импульсными устройствами ТИ. Последние обычно входят в состав комплексных устройств ТУ—ТС—ТИ, передающих по каналу связи дискретную и непрерывную информации. На пром. предприятиях в основном используются кабельные линии связи. В ряде случаев

управление производств. процессами не может осуществляться по мгновенным значениям измеряемых параметров. Возникает задача усреднения параметров, что может производиться как на контролируемом пункте простейшими интеграторами, так и на пункте управления с помощью ЦВМ. В первом случае целесообразно передавать усредн. значения двоичным кодом, во втором — вводить на пункте управления телеизмеряемые параметры в ЦВМ для интегрирования и усреднения. Увеличение объема информации, поступающей на пункт управления, потребовало автоматизировать ее обработку. В связи с этим получили применение комплексные системы, обеспечивающие обработку информации для диспетчера (оператора) и ввод информации в ЦВМ. При дискретном характере произ-ва (машиностроение) информация передается от дискретных датчиков в вычислит. центр, где она регистрируется на перфокартах и в дальнейшем используется для планирования произ-ва с помощью ЦВМ.

В горнорудной и угольной промышленности телемехаич. устройства используются для управления и контроля сосредоточ. объектов, расположенных в шахтах и на поверхности, для контроля подвижных рассредоточ. объектов на участках шахты, управления поточно-транспортными системами. Последние две задачи наиболее специфичны для горнорудной и угольной пром-сти. В подземных выработках, где, напр., имеются устройства для телесчета вагонеток, передача сигналов Т. осуществляется по силовым линиям 380 *в* — 6 *кв* и по занятым линиям телефонной связи, а также по комбиниров. каналам: от передвижного объекта до понижающей подстанции — силовая низковольтная сеть, далее до диспетчерского пункта — свободная или занятая пара проводов в телефонном кабеле. Применяются временны́е и частотные системы ТУ—ТС.

Управление и контроль поточно-транспортными системами характеризуются относительно большим количеством команд и сигналов при рассредоточ. расположении контролируемых пунктов. Количество пунктов достигает 100, суммарное количество объектов ТУ—ТС на каждом пункте — 10. На центр. диспетчерском пункте поточно-транспортной системы и местных пунктах управления может выполняться ряд логич. операций автоматич. управления взаимосвязанными агрегатами, входящими в поточно-транспортную систему. Предусматривается передача ряда команд по программе с определ. выдержками времени между операциями. Искажение графика работы поточно-транспортной системы нарушает технологич. цикл, поэтому телемехаич. устройства должны иметь повышенную надежность. Между диспетчерским пунктом, местными пунктами управления и контролируемыми пунктами в этом случае используются кабельные линии связи.

Железнодорожный транспорт. Устройства Т. используются для управления энергоснабжением электрифицированных дорог и для диспетчерской централизации (управление стрелками и сигналами) в пределах участка (диспетчерского круга) или станции. При управлении энергоснабжением ж. д. есть 2 самостоят. задачи: управление тяговыми подстанциями, постами секционирования и управление разъединителями контактной сети. При этом управление осуществляется в пределах диспетчерского круга протяженностью 120—200 *км*, вдоль к-рого располагаются 15—25 контролируемых пунктов (тяговых подстанций, постов секционирования, станций с разъединителями контактной сети). Структура каналов связи в основном цепочечная (все пункты расположены вдоль одной линии связи), иногда древовидная. На каждом контролируемом пункте (тяговая подстанция, пост секционирования) — от 10 до 65 объектов ТУ и от 15 до 120 объектов ТС. Время передачи приказа или сигнала не превышает 2—3 сек. Для таких объектов применяются спец. устройства ТУ—ТС. ТУ осуществляется, как правило, с временны́м разделением сигналов; при этом выделяется один телеграфный канал с полосой ~120 *гц* для передачи команд на все контролируемые пункты. Импульсный многоступенчатый код, передаваемый устройством ТУ, обеспечивает выбор контролируемого пункта, операции, группы и объекта управления. Выбор группы позволяет рационально использовать устройство при различном количестве команд на контролируемых пунктах. При ТС имеет место частотное разделение каналов, напр. для каждого контролируемого пункта выделяется индивидуальный телеграфный канал. ТИ напряжения на линии, токов нагрузки и перетоков мощностей с опорных тяговых подстанций осуществляется по вызову с помощью устройств ТУ и частотно-импульсных, работающих по выделенному телеграфному каналу. ТУ разъединителями контактной сети позволяет проводить ремонтные работы, не нарушая графика движения поездов. ТУ разъединителями, располагаемыми небольшими группами вдоль ж. д., выполняется спец. устройством ТУ—ТС, обслуживающим до 10 контролируемых пунктов, имеющих каждый до 10 объектов ТУ и до 12 объектов ТС. Разделение сигналов ТУ и ТС — временно́е. ТС осуществляется циклически по вызову. Для ТУ и ТС используются два телеграфных канала. Время передачи команды ТУ и извещения о ее выполнении (ТС) составляет до 10—15 сек. Диспетчерская централизация в пределах круга позволяет управлять более чем 60 контролируемыми пунктами, на каждом из к-рых до 10 двухпозиц. объектов ТУ и до 20 двухпозиц. объектов ТС. Для этого применяются устройства с временны́м и частотным разделением. При этом используются воздушные стальные линии с диаметром проводов 4—5 *мм* на ж.-д. линиях пост. тока и пупинизированный кабель — на ж.-д. линиях перем. тока. В полосе 450—3690 *гц* образуется до 19 телеграфных каналов.

Оросительные системы. Устройства Т. служат для централизов. контроля и управления получением и распределением воды. Это — один из потенциально крупных потребителей средств Т. Суммарное количество еще не полностью подготовленных для телемеханизации объектов ТУ, ТС и ТИ достигает примерно 100 тыс. Средства Т. используются для управления системами самотечного орошения, магистральными каналами и водозаборными скважинами (в т. ч. водяными затворами, щитами, задвижками, насосами, ТИ уровня и расхода воды и т. п.). Контролируемый или исполнит. пункт на магистральном или хозяйств. канале имеет 0—2 многопозиц. (или 2-позиц.) объекта ТУ, неск. объектов ТС и ТИ по вызову. Многопозиц. ТУ применяется для автоматич. регулирования расхода воды или для открывания водяного щита на заданную величину. Контролируемые пункты в ряде случаев не имеют местных источников питания. Водозаборные скважины имеют 1—2 двухпозиц. объекта ТУ, 2—3 объекта ТС и 0—1 объект ТИ. На оросит. устройствах широко применяются частотные системы с двухчастотным кодом C_n^2 или A_n^2, работающие по выделенной проводной линии (стальная 3—4 *мм* двухпроводная линия), одновременно используемой для телефонной связи. Время передачи ТУ, ТС, ТИ — неск. сек. Протяженность телеуправляемой оросит. системы — от неск. *км* до 100 *км*. Проводятся работы по созданию объединенных комплексов, состоящих из неск. оросит. систем с многоступенчатым управлением.

Методы и средства Т. также применяются: в связи для ТК и ТУ усилит. пунктами и др. объектами на коаксиальных и симметричных магистральных кабелях, ретрансляц. станциями радиорелейных линий и т. п.; для ТК и ТУ объектами аэродромов и аэропортов (сигнальные, посадочные огни, радиостанции и т. п.); для ТУ подвижными объектами (напр., ракетами, спутниками Земли, космич. кораблями и т. д.); в метеорологии (радиозонды, автоматич. метеостанции, автоматизация сбора и передачи метеорологич. информации и т. д.); для управления объектами коммунального хозяйства (водопровод, канализация, газ) и начинают применяться для управления движением городского транспорта.

В СССР существует сеть отраслевых н.-и. ин-тов и конструкторских бюро, разрабатывающих технич. средства Т. Ряд специализиров. з-дов выпускает аппаратуру Т. для различных отраслей нар. х-ва. Ранее аппаратура Т. строилась на электромеханич. и механич. принципах с электрич. контактами и кинематич. узлами, к 1960—64 в значит. степени уже произошел переход на высоконадежные магнитные, ПП и др. бесконтактные элементы, на основе к-рых строятся системы Т. с временны́м, частотным и комбиниров. разделением сигналов. Старая аппаратура требовала частого периодич. осмотра и обслуживания, связанного с чисткой контактов, регулировкой и смазкой движущихся частей. Новая бесконтактная аппаратура не имеет таких узлов и может работать с более редкими профилактич. осмотрами.

В последние годы широкое развитие получили *телемеханические системы для рассредоточенных объектов.*

Лит.: Горянинов О. А., Райнес Р. Л., Телеуправление, М.—Л., 1954; Ильин В. А., Основные научные проблемы телемеханики, «АиТ», 1955, т. 16, № 4; Фремке А. В., Телеизмерения, М.—Л., 1958; Малов В. С., Телемеханика, М.—Л., 1965; Мановцев А. П., Раввин Г. И., Основы телеуправления и телеконтроля, М.—Л., 1959; Васильев Р. Р., Шастова Г. А., Передача телемеханической информации, М.—Л., 1960; Типугин В. Н., Вейцель В. А., Радиоуправление, М., 1962; Ильин В. А., Телеконтроль и телеуправление рассредоточенными объектами, М.—Л., 1963; Малов В. С., Телемеханика в энергетических системах, 2 изд., М.—Л., 1955; Маминонов А. Г., Гешелин М. Г., Телемеханика в нефтяной и газовой промышленности, М., 1961.

В. А. Ильин, А. М. Пшеничников.

ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (remote control system; système de télécommande; system der Fernwirktechnik) — совокупность устройств телемеханики и каналов связи, предназначенная для автоматич. передачи на расстояние информации управления (см. *Телеавтоматическая система*).

Классификация Т. с. проводится по основным признакам, характеризующим их св-ва. Сюда относятся: характер передаваемых сообщений; выполняемые ф-ции; вид и расположение объектов управления и контроля; конфигурация, структура и типы линий связи, а также способы их использования для передачи сигналов Т. с.

По характеру передаваемых сообщений Т. с. разделяются на системы для передачи непрерывных и дискретных сообщений. К 1-й группе относятся системы, рассчитанные на передачу непрерывных команд или физ. величин (электрич. тока, напряжения и мощности, давления и расхода жидкости и газа, темп-ры и т. п.). Системы 2-й группы осуществляют передачу дискретных данных, напр. передачу извещений о состоянии оборудования контролируемых объектов типа «включено» — «отключено», «открыто» — «закрыто» или команд типа «включить» — «отключить», «открыть» — «закрыть». Формирование сигналов и их расшифровка в системах этих групп существенно различны.

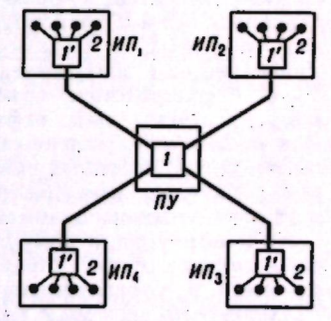


Рис. 1. Радиальная структура линии связи: *ПУ* — пункт управления; *ИП* — исполнит. пункт; *1*, *1'* — телемеханич. устройства; *2* — объекты управления и контроля.

По выполняемым ф-циям Т. с. разделяются на системы: ТУ, ТС и ТИ. Системы ТУ используются для передачи дискретных или непрерывных команд управления объектами. К последнему типу относятся команды регулирования, передаваемые для плавного изменения регулируемого параметра. Системы ТУ, предназначенные для передачи команд регулирования, иногда выделяют в самостоят. классификац. группу систем ТР. Системы ТС служат для передачи дискретных сообщений о состоянии контролируемых объектов (напр., о включении или отключении оборудования, достижении предельных значений параметра, возникновении аварийного состояния и т. п.). Системы ТИ применяются для передачи непрерывных контролируемых величин. Системы ТС и ТИ объединяют в группу систем ТК. В ряде случаев применяются комбинированные или комплексные Т.с., выполняющие ф-ции ТУ, ТС и ТИ.

По способу передачи сообщений Т. с. подразделяются на одноканальные и многоканальные. В пром. телемеханике подавляющее большинство систем — многоканальные, передающие по общему каналу связи сигналы для многих объектов ТУ или от многих объектов ТК. Они образуют большое количество подканалов объектов. В зависимости от способа разделения сигнала, относящегося к разным объектам управления или контроля, различают много

канальные Т. с.: а) с электрическим или кондуктивным разделением (многопроводные системы), б) с частотным разделением и в) с временным разделением (см. *Сигнал телемеханический*). Электрич. разделение применяется только в простейших системах ТУ и ТС с небольшим радиусом действия.

По виду обслуживаемых (контролируемых и управляемых) объектов Т. с. разделяются на системы для неподвижных и для подвижных объектов. К первой группе относятся Т. с. для стационарных пром. установок; ко 2-й — для управления кораблями, локомотивами, кранами, самолетами, ракетами, а также танками, торпедами, управляемыми снарядами и др. По расположению контролируемых и управляемых объектов различают системы для сосредоточ. и для рассредоточ. объектов. В 1-м случае все обслуживаемые системой объекты размещаются в одном пункте. При этом связь между объектами в пределах пункта осуществляется без применения Т. с. Во 2-м случае обслуживаемые системой объекты рассредоточиваются по одному или группами в ряде пунктов, к-рые подключены в различных точках к общей линии связи. К Т. с. с сосредоточ. объектами относятся, в частности, системы для электростанций и трансформаторных подстанций, насосных и компрессорных установок. Такие системы обслуживают один пункт. К Т. с. с рассредоточ. объектами относятся, напр., системы для нефтяных промыслов. Здесь Т. с. обслуживает большое число (десятки, сотни) нефтяных скважин и др. установок, распределенных на территории промысла и управляемых из одного пункта.

По конфигурации и структуре линий связи, соединяющих пункт управления с контролируемыми и управляемыми объектами, Т. с. разделяют на системы с радиальной, цепочечной, древовидной и смешанной структурами

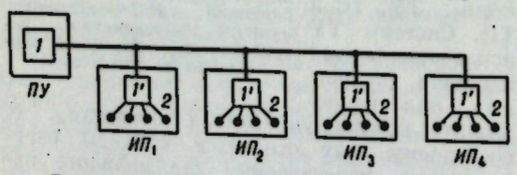


Рис. 2. Цепочечная структура линии связи.

(рис. 1—3). Цепочечная, древовидная и смешанная структуры наиболее характерны для Т. с. с рассредоточ. объектами.

По типу каналов связи Т. с. разделяются на системы: а) с электрич. проводными и радиоканалами и б) с неэлектрич. (оптич., акустич., пневматич. и гидравлич.) каналами связи.

Дальнейшее разделение Т. с. основывается преимущественно на принципах образования сигналов. По этому признаку системы ТИ подразделяют на системы интенсивности и системы с модулированными и кодовыми сигналами. В системах интенсивности параметром сигнала служит величина тока или напряжения в линии связи. Необходимая точность этих систем обеспечивается только при длине линии связи не более 10—30 *км*. Их применение на больших расстояниях экономически нецелесообразно — потребуется выделение физ. линий связи. Системы с модулированными сигналами подразделяются на системы: а) с время-импульсной модуляцией, в к-рых параметр модуляции — длительность (ширина) импульса (системы с широтной импульсной модуляцией) или положение во времени (фаза) импульса (фазовая импульсная модуляция), и б) системы с частотной модуляцией, в которых параметр модуляции — частота следования импульсов (частотно-импульсные системы) или частота синусоидальных колебаний (частотные системы). В кодовых системах осуществляется преобразование

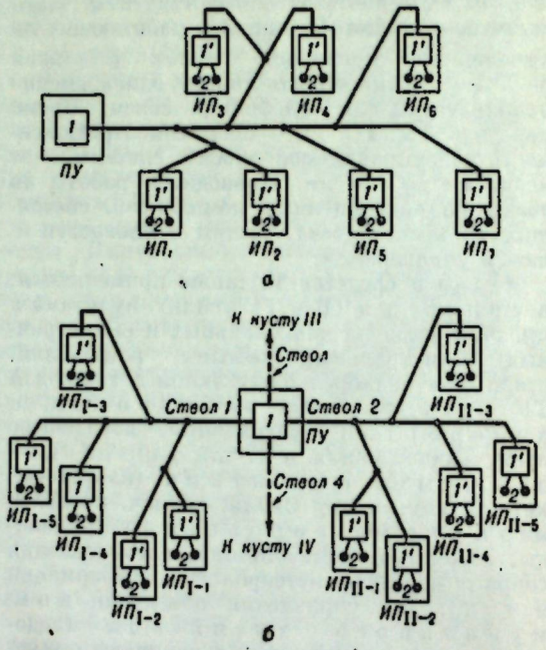


Рис. 3. Древовидная структура линии связи: *а* — одноствольная; *б* — многоствольная, или кустовая.

непрерывных контролируемых величин в комбинации кода, состоящие из группы импульсов. Такие системы наз. также кодо-импульсными. В системах ТИ с модулированными и с кодовыми сигналами погрешности в меньшей степени зависят от нестабильности параметров линии связи, что позволяет осуществлять передачу на большие расстояния. Вместе с тем характер их сигналов позволяет использовать уплотненные линии связи, что необходимо из экономич. соображений при длинных линиях связи.

В многоканальных системах ТУ (ТС) каждый передаваемый сигнал соответствует определ. объекту управления (сигнализации) и, соответственно, несет определ. команду (извещение). Сообщения ТУ, ТС, ТИ имеют большую избыточность, а количество информации, передаваемой объекту, в пром. телемеханике невелико, поэтому каналы связи обычно недогружены и во многих случаях целесообразно увеличение многоканальности.

Системы ТУ и ТС подразделяются также по способу разделения элементов сигнала. При сосредоточ. объектах часто используются системы ТУ и ТС с временны́м, а при рассредоточенных — с частотным разделением.

Лит.: Малов В. С., Телемеханика, М.—Л., 1965.

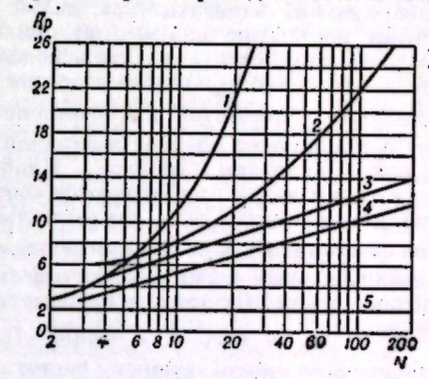
В. С. Малов.

ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ДЛЯ РАССРЕДОТОЧЕННЫХ ОБЪЕКТОВ (remoto control system for distributed plants; système de télécommande pour systèmes commandés dispersés; system der Fernwirktechnik für

verteilte Anlagen) — разновидность систем телемеханики, в которой к общему каналу связи подключается неск. или большое число территориально рассредоточ. контролируемых пунктов; каждый из них может иметь один или неск. объектов ТУ, ТИ или ТС. Количество рассредоточ. объектов и контролируемых пунктов в системах централизованного управления производств. процессами в пром-сти, на транспорте и в с. х-ве значительно больше, чем сосредоточ. объектов. В таких системах управления сравнительно некрупные пункты рассредоточены вдоль линии (нефте- и газопроводы, ирригация, транспорт) или по площади (нефте- и газопромыслы, пром. пр-тия и т. п.). Все объекты участвуют в едином, взаимосвязанном производств. процессе.

В Т. с. для р. о. пром. назначения количество передаваемой информации невелико и реальные каналы связи обычно резко недогружены. Поэтому подключение к одному каналу связи ряда рассредоточ. контролируемых пунктов значительно улучшает его использование. Во многих случаях общий канал или линия связи служат и для диспетчерской телефонной связи.

Характерным примером системы для массовых рассредоточ. объектов является комплексная система телемеханики для централизованного управления нефтескважинами. Здесь каждая скважина (контролируемый пункт), работающая без дежурного персонала, имеет 2—3 ТИ по вызову, 1—3 двухпозиц. объекта ТУ, включая вызов ТИ. Кроме того, с каждой скважины необходимо передавать 1—2 сигнала о неисправности оборудования (аварийные, предупредит. сигналы) и иметь двухстороннюю телефонную связь во время прихода на скважину обходчика или ремонтной бригады. Количество нефтескважин, управляемых с одного диспетчерского пункта, составляет от 30 до 350, а число выделенных линий связи, соединяющих пункт управления с группой контролируемых пунктов, — от 2 до 15. Для передачи одному из объектов команды ТУ «включить» или «выключить» необходимо передать адрес объекта для автоматич. его избирания и передать выбранному объекту саму команду. При суммарном числе объектов, подключенных к общему каналу связи $N \gg 1$, количество информации при передаче адреса объекта значительно больше, чем при передаче элементарной команды «включить» или «выключить». Методы передачи информации управления целесообразно в этом случае сравнивать в основном по способам передачи адреса объекта, а не самой команды. Это тем более важно, что на массовых рассредоточ. контролируемых пунктах, работающих без дежурного персонала, необходимо иметь простую аппаратуру. На рис. приведена зависимость ко-



Зависимость количества реле от чисел объектов при различных методах избирания: *1* — распределит. негрупповой метод; *2* — распределит. групповой метод; *3* — комбинац. метод на одно сочетание; *4* — комбинац. метод на все сочетания; *5* — распределит. негрупповой метод с рассредоточ. распределителем.

личества реле избирания на отдельном объекте Kp от суммарного числа объектов N, подключенных к общему каналу связи, при различных методах избирания с временны́м разделением сигналов. Эта зависимость справедлива и для бесконтактных релейных элементов с двумя возможными состояниями (0 или 1).

Тип, название	Область применения	Число объектов			Вид сигналов	Диапазон частот и дальность
		ТУ	ТС	ТИ (по вызову)		
ЧТП (частотная система ТУ—ТС—ТИ)	Нефтепромыслы	1×240	2×240	2×240	Избирание КП-одночастотный; ТУ-полярный	80—1400 *гц*
СРП-3 (частотная система ТУ—ТС—ТИ)	Кустовые насосные станции нефтепромыслов и др.	24×10	36×10	5×10	Двухчастотный	300—3000 *гц* 30—40 *км*
БЧСТ (бесконтактная частотная система ТУ—ТС)	Предприятия коммунального х-ва и др.	32	32	—	ТУ и избирание КП-двухчастотный с паралл. посылками; ТС-одночастотный	350—3000 *гц* 10 *км*
БЧТ-60 (частотная система ТУ—ТС—ТИ)	Магистр. газопроводы; для районной диспетчеризации	2×30	3×30	3×30	Избирание-двухчастотный с последоват. посылкой; ТУ-полярный	60—400 *гц* 150 *км*
КТС (бесконтактная кодовая система)	Служба центр. диспетчера магистральных газопроводов	—	7×25	7×25	Двоичный	1400—2100 *гц* (фиксированные частоты)
ТЧР-61 (частотная система ТУ—ТС—ТИ)	Ирригац. сооружения и др.	1×56	1×56	1×56	Избирание КП-двухчастотный с последоват. посылкой; ТУ-полярный; ТС-одночастотный	60—400 *гц*
ПЧДЦ (система диспетчерской централизации)	Ж.-д. транспорт	240	1280	—	ТУ-полярный, ТС-частотно-комбинац. с последоват. передачей 4 частот	Выделенная проводная линия; фиксированные частоты 165—2550 *гц*

При большой рассредоточенности объектов, когда $N/n \gg 1$, где n — количество объектов на контролируемом пункте (КП), наиболее простая аппаратура на объектах будет при рассредоточенном распределителе. Однако этот способ избирания требует разрыва линии связи и последовательного включения устройств в линию на каждом исполнит. пункте, что приводит к уменьшению структурной надежности системы управления. Для рассредоточенных объектов хорошие результаты могут быть получены с элементами избирания, каждый из к-рых может настраиваться на один из многих избирающих признаков. Такими св-вами обладают частотные избиратели при частотном разделении сигналов и экспоненциальные элементы (наз. также импульсными мостовыми элементами) при временно́м разделении сигналов. Для одночастотного кода или одноимпульсного кода при экспоненциальных элементах на сочетание C_N^1 требуется только один элемент избирания для отдельного двухпозиц. объекта. Наиболее близко к таким кодам приближаются соответственно двухчастотные или двухимпульсные коды на сочетание C_N^2 или на размещение A_N^2, требующие два элемента на каждый отдельный двухпозиц. объект. При этом в первом случае $N = \frac{m(m-1)}{2}$ и во втором $N = m(m-1)$, где m — количество используемых частот или временны́х позиций при временно́м разделении сигналов. Для сравнительно небольшой рассредоточенности объектов хорошие результаты могут быть получены и с др. кодами. Выбор Т. с. для р. о. может зависеть также от др. требований. В табл. на стр. 11 приведены основные данные Т. с. для р. о. заводского произ-ва.

Лит.: Ильин В. А., Системы телемеханики для рассредоточенных объектов, М.—Л., 1960; его же, Телеконтроль и телеуправление рассредоточенными объектами, М.—Л., 1963; Мамиконов А. Г., Гешелин М. Г., Телемеханика в нефтяной и газовой промышленности, М., 1961. *В. А. Ильин.*

ТЕЛЕРЕГУЛИРОВАНИЕ (remote-control; règlage automatique à distance; Fernregelung) — раздел телемеханики, включающий методы и технич. средства ТУ, предназначенные для передачи команд регулирования. См. *Телеуправление.*

ТЕЛЕСИГНАЛИЗАЦИЯ [remote signalling; signalisation à distance (télé-signalisation); Fernmeldung] — раздел телемеханики, к к-рому относится передача дискретной информации на пункт управления (ПУ) с контролируемых пунктов (КП) об их состоянии. Объекты на КП характеризуются двумя, реже неск. фиксированными состояниями или достижением крайних значений непрерывно изменяющихся параметров (темп-ры, давления и т. д.). Устройства Т. в ряде случаев передают сигналы о количестве предметов или объектов (напр., изготовл. деталей, загруж. вагонеток и т. п.) или об интегральных значениях контролируемых величин, т. е. выполняют ф-ции устройств ТИ.

Различают след. виды Т.: извести́тельную — о технологич. переключениях на КП, передаваемую независимо от оператора или диспетчера; извести́тельную — по вызову диспетчера; ответную — о переключениях объектов КП по команде диспетчера; аварийно-предупредительную — о достижении контролируемым параметром опасного значения; аварийную — об аварии на КП. Т. может быть индивидуальной, при к-рой передается номер (адрес) сигнализирующего объекта КП, или безадресной. Извести́т. Т., как правило,— индивидуальная; аварийная — часто без указания точного места аварии. Т. обычно бывает циркулярной: за один цикл передается сообщение о состоянии всех КП. Передача Т. в *телеуправления — телесигнализации системах с временны́м разделением элементов сигналов* может быть спорадической или циклической. В первом случае передача осуществляется однократно при изменении состояния одного из КП. Если при этом сигнал не принят на ПУ или в процессе передачи происходят новые переключения, Т. автоматически повторяется. При цикличе. передаче каждое сообщение о состоянии КП передается многократно до нового состояния, к-рое также передается многократно.

При Т. особенно важно, чтобы вероятность отказа в передаче была достаточно малой (см. *Надежность системы телемеханики*). Воспроизведение сигналов на ПУ при Т. должно четко фиксировать внимание диспетчера на факте автоматич. переключения КП. Для этого, особенно при больших объемах Т., применяется т. н. темный щит, при к-ром световая индикация возникает только у символов переключающихся объектов и сохраняется до момента *квитирования* сигнала. Световая Т. часто сопровождается звуковым сигналом.

В. А. Жожикашвили.

ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЕ [remote control; télécommande (commande à distance); Fernsteuerung] — раздел телемеханики, включающий методы и технич. средства для передачи на расстояние команд управления. Каждый управляемый объект характеризуется двумя, реже — многими фиксированными состояниями. В связи с тем, что Т. без контроля за состоянием управляемых объектов затруднено, оно обычно включает в себя *телесигнализацию* и осуществляется с помощью совокупности устройств, составляющих систему ТУ — ТС (см. *Телеуправления — телесигнализации система с временны́м разделением элементов сигнала* и *Телеуправления — телесигнализации система с частотным разделением элементов сигнала*). Во избежание аварийных состояний информация Т. должна передаваться с высокой степенью достоверности. Поэтому для передачи команд Т. часто используется обратная связь. Наиболее широко применяется т. н. решающая обратная связь, при к-рой приемник анализирует сигнал и в случае обнаружения в нем искажений посылает запрос передатчику о повторении передачи. Искаженный сигнал стирается и принимается повторный. Количество повторений не ограничивается. При этом, в случае непрерывных запросов, требуется вмешательство оператора. Команда и сигнал Т. передаются в течение неск. сек. или долей сек. и отделяются обычно большим интервалом времени от др. команд. Это позволяет повысить достоверность передачи команд без заметной задержки ТС. Операция управления в Т. обычно нециркулярна: одна команда переключает только один объект и лишь после получения подтверждения об исполнении команды оператор может приступить к передаче след. команды. В отличие от этого, ТС в большинстве случаев циркулярна: за один цикл передается сообщение о состоянии всех или ряда принадлежащих к одной группе объектов. В системах

Т. большой емкости с целью упрощения аппаратуры применяют групповое *избирание.*

Т. широко используется в энергосистемах, на пром. пр-тиях, в коммунальном х-ве, на нефтепромыслах, в ирригации, в технике связи, на ВЧ кабельно-релейных магистралях дальней связи, на авиатранспорте—для управления наземными средствами посадки самолетов в аэропортах, в крупных городах — для координированного управления транспортом, и т. д. В ряде случаев управление объектами выполняется по определ. программам в ф-ции времени или состояния технологич. объектов. Если количество программ невелико, а сами программы несложны, то системы Т. дополняются спец. программными устройствами. При этом ф-ции диспетчера по управлению системой сводятся к переключению программ и первонач. запуску системы, что существенно облегчает его работу. В более сложных случаях, когда в управлении процессом участвует вычислит. машина, роль системы Т. состоит в передаче информации между машиной и объектами. Системы Т., работающие совместно с программными устройствами или вычислит. машиной, относятся к телеавтоматическим системам. С целью сокращения числа каналов связи, требующихся для передачи информации, все чаще объединяют системы Т. с устройствами ТИ в комплексные системы телемеханики.

В. А. Жожикашвили.

ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ—ТЕЛЕСИГНАЛИЗАЦИИ СИСТЕМА С ВРЕМЕННЫ́М РАЗДЕЛЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ СИГНАЛА [remote control system with time separation of signal elements; système de télécommande avec separation des elements signal dans le temps (avec separation temporelle); Zeitmultiplex — Fernwirksystem] — разновидность систем ТУ, осуществляющая передачу команд и сигналов телемеханики по каналу связи в виде временно́й последовательности импульсов, следующих друг за другом. Каждая команда или сигнал характеризуется заданным расположением импульсов с определ. импульсными признаками. Системы с временны́м разделением сигналов основаны на принципах синхронного и синфазного переключения приемно-передающих цепей на пункте управления (ПУ) и на контролируемых пунктах (КП), осуществляемого распределителями импульсов. Они относятся к наиболее широко применяемым устройствам ТУ—ТС.

Структура системы с временны́м разделением сигналов существенно зависит от метода ТС. Применяются методы спорадич. и циклич. передачи. При спорадич. методе КП постоянно находится в ждущем режиме. В момент переключения объекта устройство автоматич. запуска на КП запускает распределитель и с КП на ПУ передаются сообщения о новых состояниях всех объектов, входящих в одну группу с переключившимся объектом (групповая ТС с циркулярностью в пределах группы). Если при передаче происходят новые переключения, тогда запоминающий блок на КП включает распределитель повторно. Передача повторяется также в случае рассинхронизации передающего и приемного распределителей или искажения сигнала помехами. При этом с ПУ на КП передается запрос о повторении передачи. При совпадении моментов передачи команды и сигнала обычно предусматривается отмена передачи команды. Т. о., логика работы системы при спорадич. передаче достаточно сложна, что приводит к усложнению структуры. Еще больше усложняется структура, если в общий канал связи включается неск. КП: на каждом из них должны быть предусмотрены логические и запоминающие устройства для поочередной передачи сообщений, возникших одновременно на неск. КП. Для систем ТС с временны́м разделением каналов, работающих по уплотненному каналу связи, метод спорадич. передачи имеет еще и тот недостаток, что требует обратного канала только для осуществления ф-ции запроса. В связи с этим спорадич. передача используется чаще в системах, построенных на основе электромеханических элементов, поскольку длительная их работа в циклическом режиме невозможна. При циклическом методе передачи сигнализации распределители импульсов на ПУ и КП постоянно находятся в режиме синхронного и синфазного переключения. При этом с КП на ПУ в каждом цикле передается состояние всех объектов ТС, независимо от того, когда они переключились. Отпадает необходимость в блоках автоматич. запуска и запасания передач на КП и блоке запроса на ПУ, что существенно упрощает аппаратуру. Возникает возможность повышения достоверности передачи путем повторения (накопления) сигналов. Метод циклич. передачи, применяемый в большинстве систем с временны́м разделением сигналов, при большом объеме ТС в чистом виде не рационален, т. к. приводит к чрезмерной задержке в передаче информации. В этом случае целесообразнее групповой циклич. метод с циклич. проверкой переключений только в группах объектов. При отсутствии переключений длительность цикла определяется количеством групп объектов. Циркулярная передача сигналов о состоянии объектов к.-л. группы осуществляется в том случае, если в группе произошли переключения объектов. При этом длительность цикла увеличивается на время опроса соответствующей группы объектов. Если вероятность переключения объектов неск. групп за время одного цикла мала, то метод группового циклич. опроса дает существ. сокращение длительности цикла по сравнению с обычным методом циклич. опроса. По сложности структуры системы с групповой циклич. передачей занимают промежуточное место между системами со спорадич. и циклич. передачами. В отличие от ТС, команды ТУ в системах с временны́м разделением сигналов, как правило, нециркулярны. В системах спорадич. действия команды ТУ и ТС передаются в различные интервалы времени. В системах с циклич. передачей широко распространен др. метод, при к-ром импульсы команд управления чередуются с импульсами ТС. Команды ТУ обычно представляют последовательность неск. кодов, каждый из к-рых построен по закону C_n^m, где n — число импульсов в коде, m — число избирающих импульсов. Напр., на первой ступени посылается код выбора контролируемого пункта, вслед за ним — код выбора группы объектов на этом пункте, наконец код выбора объекта в группе. Код выбора объекта обычно строится по принципу C_n^1 и наз. распределительным. Характер импульсных признаков, используемых для построения кодов, зависит от канала связи. Для небольших расстояний, когда используется физ.

двухпроводная цепь, часто применяются амплитудный избирающий признак («наличие — отсутствие» импульса) в сочетании с разделением импульсов по фазе и полярности. Для уплотненных каналов связи в качестве импульсного признака осуществляется увеличение длительности импульсов или интервалов, а также — наличие — отсутствие импульса на каждой временно́й позиции. Увеличение комбинац. возможностей достигается удлинением импульсов и интервалов.

Системы с временны́м разделением сигналов различаются по методам синхронизации и синфазирования. В системах со спорадич. передачей применяется пошаговая синхронизация, при к-рой каждый информац. импульс является одновременно и синхронизирующим. Этот метод прост в реализации, однако требует передачи импульса на каждом такте, что ограничивает возможность использования различных импульсных признаков и снижает помехоустойчивость синхронизации. В системах с циклич. передачей чаще используется автономно-циклич. синхронизация или синхронизация единой сетью перем. тока. При автономно-циклич. синхронизации на ПУ и КП генераторы импульсов периодически синхронизируются импульсами, передаваемыми по каналу связи. В случае достаточной стабильности генераторов импульсов (0,5—1,5%) период синхронизации может составлять 10—15 периодов тактовой частоты, что существенно не сказывается на скорости передачи информации. Синхронизация осуществляется спец. кодовой группой или одиночными импульсами на отведенных для них временны́х позициях. Синхронизирующий импульс не требует для себя особого признака и может иметь тот же характер, что и информационный импульс. В этом случае осуществляют дополнительную подсинхронизацию системы. Реализация автономно-циклич. синхронизации приводит к более сложным аппаратурным решениям по сравнению с методом пошаговой синхронизации, однако позволяет повысить помехоустойчивость синхронизации, а вследствие возможности использования 100% импульсной манипуляции информац. импульсов — повысить помехоустойчивость информац. части сигнала. При синхронизации единой сетью перем. тока используются полуволны перем. тока, питающего ПУ и КП, как тактовые импульсы. Этот способ относится к разновидности пошаговой синхронизации, при к-рой синхроимпульсы не передаются по каналу связи. Такой метод получил наибольшее распространение в системах ближнего действия для телемеханизации пром. предприятий. Он дает наиболее простые аппаратурные решения, не требуя спец. устройств для синхронизации. К его недостаткам относятся узкая область применения (требование единой сети перем. тока) и нарушение работы системы при авариях в сети перем. тока. Для неск. КП, включенных в общий канал связи, большое значение имеет выбор метода синфазирования, обеспечивающего точное соответствие положения распределителей всех КП и ПУ. При включении распределителей импульсов на КП по разомкнутой схеме каждый распределитель, закончив цикл переключения, ждет запускающего импульса. Последний может передаваться с ПУ на все КП одновременно или поочередно. В первом случае после запуска распределителей на всех КП может быть осуществлена передача сообщений между ПУ и одним из КП в соответствии с установленной очередностью. На всех остальных КП начинается отсчет времени, необходимого для завершения передачи информации между ПУ и выбранным КП. С этой целью на всех КП устанавливаются счетчики, к-рые включают свой КП, после того как закончится цикл работы предыдущего по времени КП. В частном случае ф-цию счетчиков могут выполнять распределители импульсов. Поочередный запуск КП можно осуществить посылкой каждого синфазирующего импульса с ПУ или заменить эти импульсы кодовыми посылками, обозначающими номер КП. Наконец, поочередной запуск КП можно осуществить импульсами предыдущего КП в момент окончания цикла его работы. Выбор одного из этих методов зависит от сложности аппаратуры, структурной автономности системы, определяемой степенью независимости каждого из КП от остальных КП, потерей времени на передачу синфазирующих посылок.

С целью повышения достоверности передачи команд в Т. — т.с. с в.р.э.с. широко используется принцип информац. избыточности. В системах спорадич. действия команда, принятая на КП, анализируется и принимается решение о ее правильности. В случае положит. решения команда исполняется, в противном случае на ПУ посылается запрос о ее повторении. При этом искаженная команда, как правило, стирается и исполняется первая же команда, к-рая будет признана правильной. Этот метод наз. передачей с решающей обратной связью, иногда дополняется информац. обратной связью: перед исполнением команды с КП на ПУ посылается принятое кодовое слово, к-рое в ПУ сравнивается с переданной командой. В случае их совпадения посылается приказ на исполнение команды.

В системах циклич. действия команда автоматически передается до получения на ПУ сообщения о ее исполнении, после чего диспетчер прекращает передачу данной команды. Применяется также передача команд с огранич. числом повторений (обычно 2—3 раза), что позволяет сравнить принятые команды и осуществить коррекцию или защитный отказ при неполном совпадении. Совмещение передачи команд и сигналов в общем канале связи в системах циклич. действия возможно либо путем поочередной передачи команд и сигналов, либо путем переключения канала связи на каждом такте, причем на практике чаще используется 2-й способ. Может применяться метод тасования сообщений, при к-ром каждый командный импульс отделяется от следующего неск. сигнальными импульсами. Этот метод может повысить достоверность передачи команд при групповых помехах.

Аппаратурная надежность Т. — т. с. с в.р.э.с. достигается применением бесконтактных магнитных и ПП элементов, работающих с низкими коэфф. загрузки. Для уменьшения вероятности отказа в передаче сообщения или ложного срабатывания широко используется метод самоконтроля, состоящий в том, что при повреждении элемента в системе с КП на ПУ автоматически посылается сигнал о неисправности. Метод самоконтроля наиболее полно реализуется в системах с циклич. передачей, где он решается простыми средствами и позволяет контролировать практически все элементы

системы и канал связи. К основным узлам любой Т. — т. с. с в. р. э. с. относятся распределители импульсов на шаговых искателях, релейных переключателях (см. *Распределитель устройств телемеханики*) или на бесконтактных элементах (см. *Распределитель телемеханический бесконтактный*). Тактовые импульсы, необходимые для работы распределителя, образуются генератором импульсов. Их частота зависит от пропускной способности канала связи и составляет обычно 10—150 *гц*. В системах с пошаговой синхронизацией большой стабильности частоты генератора тактовых импульсов не требуется, т. к. синхронизация осуществляются каждым импульсом. В таких системах используются релейные пульс-пары (в системах на электромеханических элементах) или мультивибраторы на транзисторах в бесконтактных системах. В системах с автономно-циклической синхронизацией за период синхронизации генераторы не должны разойтись более чем на часть периода тактовой частоты. Чем относительно меньше период синхронизации, тем менее жестки требования к стабильности генераторов. Однако для увеличения количества передаваемых сигналов и уменьшения задержки в передаче информации желательно увеличивать период синхронизации. В системах с автономно-циклич. синхронизацией используются *LC*-генераторы или мультивибраторы на ПП, иногда на *транзисторах кремниевых*. *LC*-генераторы более стабильны, однако и более сложны, чем мультивибраторы. Последние также отличаются меньшим потреблением энергии питания. Поэтому *LC*-генераторы применяются в системах с большой емкостью, когда желательно получить большой период синхронизации, а потребление энергии не строго лимитировано. Генераторы импульсов в системах с автономно-циклич. и пошаговой синхронизацией, если генератор участвует в формировании импульсных признаков, должны допускать практически мгновенную перестройку выходного параметра: фазы, частоты или длительности импульса. Требования к выходному каскаду генератора определяются элементами распределителя импульсов. Так, при магнитных гистерезисных элементах амплитуда импульсов тока на выходе генератора должна быть в пределах от неск. сотен *ма* до 3—4 *а*, при длительности импульсов от неск. *мксек* до неск. *мсек*. Поэтому используются формирователи импульсов (блокинг-генераторы) на транзисторах или ферроконденсаторные формирователи, преобразующие полуволны синусоидального перем. тока в остроконечные импульсы большой амплитуды и малой продолжительности. Выходные *реле* Т. — т.с. с в.р.э.с. должны отвечать высоким требованиям надежности, стабильности параметров и выходной мощности, а также иметь высокое быстродействие и чувствительность, т. к. они управляются короткими импульсами от распределителей. В феррит-диодных распределителях длительность управляющих импульсов составляет от единиц до десятков *мксек*. В случае, если распределители выполнены на относительно больших ленточных сердечниках, длительность импульсов достигает неск. *мсек*. В качестве выходных реле бесконтактных систем используются магнитные усилители в релейном режиме, статич. триггеры на транзисторах, управляемые блокинг-генераторы на транзисто-

Наименование системы	Область применения	Выполняемые функции	Емкость	Расположение объектов	Способ синхронизации	Элементы аппаратуры	Метод передачи сообщений	Канал связи
УТМ-1	Энергосистемы, пром. предприятия	ТУ, ТС, ТР, вызов ТИ	ТУ—16 ТС—23 вызов ТИ—10	Сосредоточенное одном КП	Пошаговый	Электромагнитные реле, шаговые искатели	Спорадический	Проводный, частотный
ТМЭ-1	Энергетика пром. предприятий, энергосистемы	ТУ, ТС, ТР, вызов ТИ	ТУ — до 40 ТС — до 42 вызов ТИ — до 32	То же	Единая сеть на ПУ и КП	Магнитные элементы на ленточных сердечниках, магнитные усилители в релейном режиме	Циклический	Проводный
БТЦ-1, 1	Пром. предприятия	ТУ, ТС, ТР, вызов ТИ	—	»	То же	Феррит-транзисторные ячейки, ПП реле	То же	Проводный
ЭСТ-62	Тяговые ж.-д. подстанции, посты секционирования, разделители контактной сети	ТУ, ТС	ТУ — 5—44 ТС — 7—120 на одном КП	До 30 КП	Пошаговый	Транзисторные ячейки, магнитные элементы на ленточных сердечниках	»	Частотный
БТФ	Пром. предприятия, магистрали дальней связи, аэропорты	ТУ, ТС, вызов ТИ	До 60	До 20 КП вдоль линии связи	Единая сеть на ПУ и КП, автономно-циклический	Феррит-диодные ячейки, магнитно-ПП реле	»	Проводный
ВРТФ	Энергосистемы, пром. предприятия	ТУ, ТС, ТР, вызов ТИ	ТУ — до 40 ТС — до 48 ТР — до 39 вызов ТИ — до 40	Сосредоточенное одном КП	Пошаговый	Феррит-диодные ячейки, ПП реле	»	Проводный, частотный

рах и магнитных сердечниках. Перспективно применение реле, выполненных на ПП приборах с четырехслойной структурой.

Т.—т.с. с в.р.э.с. состоят из ряда специфич. функцион. узлов: образования и фиксации импульсных признаков, линейных, автоматич. запуска, контроля и защиты и др. Все эти узлы представляют собой импульсные схемы, работающие на частоте тактовых импульсов системы. Для построения этих схем применяются логич. элементы, амплитудные и временные селекторы, запоминающие и переключающие элементы, выполняемые в основном на магнитных и ПП приборах.

Т.—т. с. с в. р. э. с. хорошо сочетаются с устройствами кодо-импульсного и время-импульсного ТИ, а также с программными устройствами, что используется при построении комплексных систем телемеханики и телеавтоматики. Они применяются в первую очередь для телемеханизации сосредоточ. объектов средней и большой мощности, а также объектов, расположенных на ряде КП вдоль протяженных сооружений. Широко используются в энергосистемах, на пром. предприятиях, на ж.-д. транспорте. Перспективно применение таких систем в технике дальней связи, при диспетчерском управлении авиац. и городским транспортом. Для телемеханизации объектов, расположенных малыми группами в большом числе точек, эти системы нашли значительно меньшее применение. Хар-ки нек-рых систем см. в таблице (стр. 15).

Лит.: Билик Р. В. [и др.], Бесконтактная телемеханическая система с временным разделением каналов, М., 1964; Лоссев Д. П., Полисар Г. Л., Филимонов Ю. П., Элементы и узлы бесконтактных телемеханических устройств, Л., 1962.

В. А. Жожикашвили.

ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ—ТЕЛЕСИГНАЛИЗАЦИИ СИСТЕМА С ЧАСТОТНЫМ РАЗДЕЛЕНИЕМ ЭЛЕМЕНТОВ СИГНАЛА (remote control system with frequency separation of signal elements; système de télécommande avec séparation fréquentielle des elements de signal; Frequenzmultiplex—Fernwirksystem)— разновидность систем ТУ—ТС, использующая при передаче сигналов частотную селекцию (избирание).

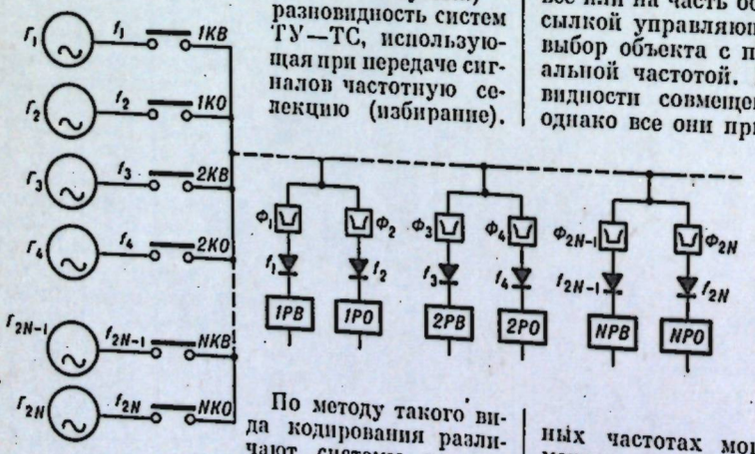


Рис. 1.

По методу такого вида кодирования различают системы с независимыми посылками и комбинационные. При независимых посылках каждой команде присваивается определ. частота. Для образования сигналов применяются генераторы синусоидальных колебаний $\Gamma_1, \Gamma_2, \ldots, \Gamma_N$, настроенные соответственно на частоты $f_1, f_2, \ldots, f_N$ (рис. 1). Число генераторов может быть сокращено, если ограничить число одновременно посылаемых команд. При одновременно посылаемой одной команде можно использовать один генератор, перестраиваемый при нажатии ключа управления на частоту, присвоенную данной команде. Каждому двухпозиц. объекту присваиваются два значения частоты: одно — для команды «включить» («открыть»); другое — «отключить» («закрыть»). Посылка сигналов осуществляется замыканием объектных ключей управления (трех- или двухпозиционных). $1KB$, $2KB$, ..., NKB — ключи, посылающие команду «включить»; $1KO$, $2KO$, ..., NKO — команду «отключить». На контролируемых пунктах для каждого объекта выделяют два частотных избирателя из общего количества избирателей $\Phi_1, \Phi_2, \ldots, \Phi_N$, обеспечивающих селекцию сигнала заданной частоты. Частотными избирателями служат электрич. полосовые фильтры, резонансные контуры или спец. электромеханич. резонансные устройства. К выходу частотного избирателя через выпрямитель подключается исполнит. реле $1PB$, $1PO$, $2PB$, $2PO$, ..., NPB, NPO. Таким обр., при нажатии ключа управления в линию посылается сигнал — синусоидальные колебания частоты, присвоенной данному приказу; соответствующий частотный избиратель обеспечивает срабатывание заданного исполнит. реле.

Метод независимых посылок отличается простой аппаратурой на объектах, быстродействием системы, возможностью одноврем. посылки неск. команд; к недостаткам его относятся небольшая емкость системы, ограниченная числом частот, размещенных в заданной полосе, и малоэффективное использование частот. Емкость систем с индивидуальными частотами в отдельных случаях расширяют путем совмещения частотного метода кодирования с другими (число-импульсным, время-импульсным и т. д.). Сокращение числа используемых частот достигается также выделением одной частоты для однотипных сообщений на все или на часть объектов. При этом перед посылкой управляющего сигнала осуществляют выбор объекта с присвоенной ему индивидуальной частотой. Применяются и др. разновидности совмещения методов кодирования, однако все они приводят к усложнению установленной на объектах аппаратуры и к увеличению времени передачи сигнала. В системах комбинац. типа для увеличения емкости при огранич. числе используемых частот осуществляют их комбинирование — каждому сигналу присваивается не одна частота, а комбинация неск. частот. Сигналы на комбинированных частотах могут передаваться одновременно или поочередно. При одноврем. передаче сигналов их общее число N, при F используемых частотах, определяется как сочетание:

$$N = C_F^f = \frac{F!}{f!\,(F-f)!},$$

где f — число частот, участвующих в образовании одной комбинации. Часто ограничиваются комбинированием по две частоты, тогда

$$N = C_F^2 = \frac{F(F-1)}{2}.$$

При последоват. посылке сигналов в любой момент времени в канале возникают колебания только одной частоты, что позволяет снизить требования к нелинейным искажениям в канале и к селективным св-вам частотных избирателей, а это повышает надежность работы системы. Емкость системы определяется как размещение:

$$N = A_F^f = \frac{F!}{(F-f)!}.$$

Для широко применяемого двухчастотного кода

$$N = A_F^2 = F(F-1).$$

На рис. 2 приведена упрощенная схема Т.—т. с. с ч. р. э. с. комбинац. типа. В передающей

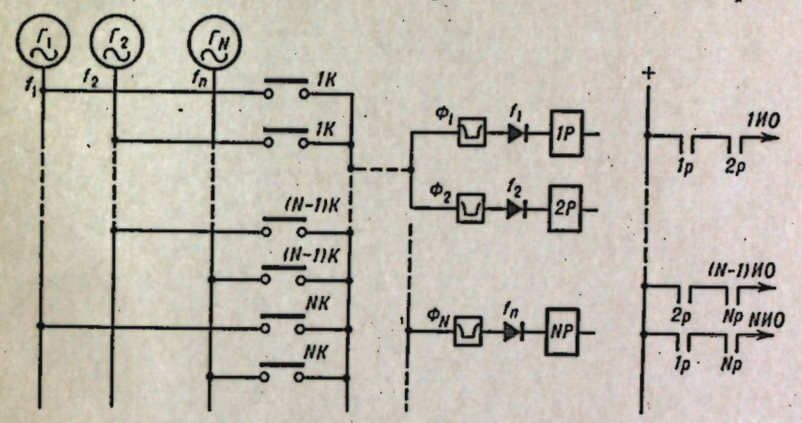


Рис. 2.

части имеются N генераторов синусоидальных колебаний $\Gamma_1, \Gamma_2, \ldots, \Gamma_N$ с частотами, используемыми в комбинировании, $f_1, f_2, \ldots, f_n$. Число генераторов может быть сокращено до числа одновременно посылаемых частот. При последоват. передаче команд может быть один генератор, последовательно перестраиваемый по частоте. Каждой команде соответствует определ. комбинация частот. Схема составлена для двухчастотного кода с одноврем. посылкой двух частот. Команда передается при одноврем. замыкании двух ключей управления $1K$ и $2K$. При этом осуществляется передача комбинации из двух частот, присвоенных данной команде. На приемной стороне установлен комплект частотных избирателей—фильтров $\Phi_1, \Phi_2, \ldots, \Phi_N$ с подключенными к ним через выпрямители нейтральными реле $1P$, $2P$, ..., NP. При двухчастотной комбинации сработают соответствующие два реле, образуя своими контактами цепь срабатывания исполнит. органов $1IO$ и $2IO$. В последних типах Т.—т. с. с ч. р. э. с. применяются бесконтактные реле. При рассредоточ. контролируемых пунктах определ. количество частотных избирателей с одинаковыми частотами повторяется. Уд. расход частотных избирателей — отношение числа частотных избирателей к общему числу команд, лежит в пределах от 2 для пунктов, на к-рые передается только одна команда, до $\frac{F}{N} < 1$ для сосредоточ. объектов, где все приказы поступают на один исполнит. пункт. При последоват. передаче частот в передающее устройство включаются элементы, определяющие последовательность частот, а на приемной стороне вводятся элементы памяти, фиксирующие последовательность принимаемых частот.

Избиратели с электрич. полосовыми фильтрами или резонансными контурами имеют миним. рабочую полосу в подтональном диапазоне 6—10 *гц* и в тональном диапазоне 30—40 *гц*. Частотные избиратели с электромеханич. резонансными устройствами позволяют сузить полосу до 1—3 *гц*, при этом предъявляются жесткие требования к стабильности генераторов. Наиболее массовое применение получили частотные избиратели с электрич. резонансными контурами и полосовыми фильтрами.

Т.—т.с. с ч.р.э.с. работает на подтональном, тональном и надтональном диапазонах частот. При тональном диапазоне для уплотнения типовых телефонных каналов служит типовая аппаратура дальней связи. Однако при этом неэффективно используется полоса частот в канале связи. Надтональный диапазон (выше 4 *кгц*) выбирается сравнительно редко, когда применение тональных или подтональных частот затруднено.

Для Т.—т. с. с ч. р. э. с. широко используются выделенные или уплотненные проводные линии, электрич. распределит. сети высокого и низкого напряжений, радиорелейные или радиолинии. В подтональном или тональном диапазонах частот сигналы передаются по проводным линиям. Т.— т. с. с ч. р. э. с. имеют высокие помехоустойчивость и надежность работы при рассредоточ. исполнит. пунктах. Сужение полосы частотных избирателей повышает помехоустойчивость. Полоса частот в канале связи в основном ограничивается селективными св-вами и стабильностью частотных избирателей и генераторов, поэтому полоса частот принципиально может быть резко сокращена до величины, определяемой быстродействием системы.

Т.— т. с. с ч. р. э. с. нашли широкое применение для рассредоточ. объектов на нефтяных промыслах, магистральных трубопроводах, в ирригации, коммунальном х-ве и др.

Лит.: Мамиконов А. Г., Гешелин М. Г., Телемеханика в нефтяной и газовой промышленности, М., 1961; Ильин В. А., Телеконтроль и телеуправление рассредоточенными объектами, М.—Л., 1963.

А. Г. Мамиконов.

ТЕМНЫЙ РАЗРЯД [dark discharge; décharge obscure (non-luminiscente); Dunkelentladung] — вид электрич. *разряда в газе*, характеризуемый почти полным отсутствием свечения вследствие относительно низкой интенсивности процессов возбуждения и *ионизации* газа в разряде. Т. р. представляет собой переходную форму от *несамостоятельного разряда* к *самостоятельному разряду*. Благодаря этому Т. р. неустойчив, если он не стабилизирован введением в разрядную цепь достаточно большого сопротивления. В отличие от др. видов самостоят. разряда, плотность пространств. зарядов в Т. р. невелика, в связи с чем малы искажения электрич. поля, вызываемые этими зарядами.

Центральная научная БИБЛИОТЕКА 255044

Как переходная форма, Т. р. характеризуется наличием двух стадий в протекании разряда: стадии несамостоят. Т. р., к-рая требует для поддержания разряда постороннего, независимого от разряда ионизатора, и стадии самостоят. Т. р., когда при нек-ром значении напряжения на разрядном промежутке энергия частиц в разряде (ионов, фотонов, метастабильных атомов и т. п.) возрастает настолько, что на поверхности катода возникают вторичные процессы, сопровождающиеся эмиссией электронов, поддерживающей разряд без помощи постороннего ионизатора. Т. р. соответствует диапазон токов, лежащий примерно в границах от 10^{-10} до 10^{-5} *а*.

Лит.: Гапонов В. И., Электроника, ч. 1, М., 1960; Каганов И. Л., Электронные и ионные преобразователи, ч. 2, М.—Л., 1955; Капцов Н. А., Электрические явления в газах и вакууме, 2 изд., М.—Л., 1950. *О. П. Григорьев.*

ТЕМПЕРАТУРЫ ИЗМЕРЕНИЕ (measurement of temperature; mesure de température; Temperaturmessung) — предмет теоретич. и экспериментальной дисциплины — термометрии, часть к-рой, охватывающая темпры свыше $\approx 500°$ С, наз. пирометрией. Наиболее общее строгое определение понятия темп-ры, следующее из второго начала термодинамики, формулируется выражением: $T = \Delta Q/\Delta S$, где T — абс. темп-ра изолированной термодинамич. системы, ΔQ — приращение тепла, сообщаемого этой системе, и ΔS — приращение энтропии этой системы. Приведенное выражение интерпретируется след. образом: температура есть мера приращения тепла, сообщенного изолированной термодинамической системе и соответствующего приращению энтропии системы, происходящему при этом, или, иначе говоря, возрастанию неупорядоченности ее состояния. В статистич. механике, описывающей физ. системы с учетом микропроцессов, протекающих в макросистемах, понятие темп-ры определяется через выражение распределения частиц молекулярной системы между рядом невырожденных энергетич. уровней (распределения Гиббса). Такое определение (согласующееся с предыдущим) подчеркивает вероятностный, статистич. аспект понятия темп-ры как осн. параметра микрофизич. формы передачи энергии от одного тела (или системы) к другому, т. е. хаотич. теплового движения.

Малая наглядность строгих определений понятия темп-ры, справедливых к тому же только для термодинамически равновесных систем, привела к широкому распространению «утилитарного» определения, исходящего из существа явления передачи энергии: температура — это тепловое состояние тела или системы, характеризующееся его способностью обмениваться теплом с другим телом (или системой). Эта формулировка применима и к термодинамически неравновесным системам, и (с оговорками) к психофизиологич. понятию «сенсорной» темп-ры, непосредственно воспринимаемой человеком с помощью органов термич. осязания. «Сенсорная» темп-ра субъективно оценивается человеком непосредственно, но лишь качественно и в относительно узком интервале; физ. же темп-ра измеряется количественно и объективно, с помощью измерит. приборов, но только косвенно — по значению к.-л. физ. величины, зависящей от измеряемой темп-ры. Поэтому в последнем случае устанавливают к.-л. опорное (реперное) состояние выбранной для этой цели температурозависимой физ. величины и приписывают ему нек-рое определенное числовое значение темп-ры с тем, чтобы любое изменение состояния выбранной физ. величины относительно опорного могло быть выражено в единицах темп-ры. Совокупность значений темп-ры, соответствующих ряду последовательных изменений состояния (т. е. ряду значений) выбранной температурозависимой величины, образует температурную шкалу.

ГОСТ 8550—61 «Тепловые единицы», детализующий *Международную систему единиц* в области тепловых величин, предусматривает применение двух температурных шкал: термодинамической и Международной практической. Воспроизводимость термодинамической шкалы, основанной непосредственно на втором начале термодинамики и пригодной для любых темп-р, не зависит от рода вещества, используемого для ее материального осуществления. Наиболее строго и вместе с тем наглядно термодинамич. темп-ра реализуется с помощью замкнутого цикла Карно. Из-за трудности экспериментального выполнения этого цикла и соответствующих измерений ограничиваются приближенным построением термодинамич. шкалы с помощью неск. частично взаимно перекрывающихся шкал, выполненных с учетом отклонения поведения рабочего (т. н. «термометрического») вещества прибора от идеальных законов термодинамики.

Важнейшей для реализации термодинамич. шкалы является шкала газового термометра, основанного на уравнении Клапейрона, осуществляемая (для этого применяют He, H_2, N_2) в интервале приблизительно от —268° до 1600° С. При низких темп-рах, порядка темп-ры кипения кислорода ($\approx -183°$ С) и ниже, используются также шкалы, основанные на зависимости от темп-р упругости паров сжиженных газов: O_2, H_2, He^3 и He^4, а при самых низких темп-рах (ниже —268° С и в особенности ниже —272° С) — шкалы, базирующиеся на зависимости от темп-ры магнитной проницаемости парамагнитных солей.

Первые две из упомянутых температурных шкал являются газокинетическими. Они базируются на том, что абс. темп-ра термодинамически равновесного газа прямо пропорциональна средней кинетич. энергии его частиц. Однако в термодинамически неравновесной газовой системе частицы каждого вида имеют в среднем энергию, а значит и темп-ру, отличную от темп-ры частиц других видов. Поэтому в термодинамически неравновесном газе (напр., при газовых реакциях, в частности — при горении, взрывах, при электрич. разрядах в газах и т. п.) или в плазме существует одновременно много разных темп-р: темп-ры частиц отдельных видов (молекулярная, атомная, ионная, электронная темп-ры), темп-ры различных степеней свободы движения частиц (поступательная, вращательная, вибрационная темп-ры), а также темп-ры возбуждения и ионизации. Вследствие этого при Т. и. термодинамически неравновесных газов результаты измерения будут зависеть от того, энергию какого вида движения и каких именно частиц в основном фиксирует данный метод измерения. Расхождения в результатах могут достигать многих сотен и даже тысяч градусов.

Газокинетич. трактовка понятия темп-ры ограничена системами из многих частиц. Понятие темп-ры для уединенной частицы лишено содержания, поскольку к ней не применимо понятие средней кинетич. энергии и понятие о распределении скоростей движения. Поэтому газокинетич. трактовка не применима к темп-рам газов, близким к абс. нулю: так, напр., при 0,1°К объемная плотность паров гелия характеризуется при атм. давлении 760 *мм рт. ст.* наличием одной молекулы в объеме куба с ребром 15 *м*. Эта трактовка тем более не применима к вакууму. Поэтому в области очень низких темп-р пользуются уже упомянутой «магнитной шкалой», основанной на использовании свойств спиновых систем атомов парамагнитных веществ, энтропия к-рых вблизи абс. нуля определяется в основном силами магнитного взаимодействия между спинами и между ними и внешними магнитными полями. В области же средних и особенно высоких и весьма высоких темп-р пользуются «излучательной шкалой», применимой к любым термодинамич. системам, в т. ч. и к чисто энергетическим, напр. к пустой полости, заполненной потоком температурного излучения. Лучистый аспект понятия темп-ры находит практич. применение, начиная с —100° С, когда температурное излучение, пропорциональное четвертой степени абс. темп-ры излучателя, становится доступным для точных количественных измерений, и до весьма высоких темп-р порядка $10^7 — 10^8$ °С (темп-ры самоподдерживающихся реакций слияния легких ядер).

Осн. единицей измерения термодинамич. темп-ры и одновременно одной из 6 осн. единиц Международной системы единиц является градус Кельвина. Размер (темп-рный промежуток) 1 градуса Кельвина определяется тем, что значение термодинамич. темп-ры тройной точки воды установлено равным в точности 273,16°К. Эта темп-ра, при к-рой вода равновесно сосуществует в трех фазах: твердой, жидкой и газообразной, принята в качестве осн. репера вследствие ее высокой воспроизводимости, на целый порядок лучшей, чем воспроизводимость темп-р замерзания и кипения воды. Градус Цельсия, в единицах к-рого также может быть выражена термодинамич. темп-ра, по своему температурному промежутку в точности равен градусу Кельвина, но числовое значение любой темп-ры в градусах Цельсия на 273,15 *град* больше значения той же темп-ры в градусах Кельвина. Размер 1 градуса Кельвина (или 1 градуса Цельсия), определенный из числового значения темп-ры тройной точки воды, при совр. точностях измерения не отличается от его размера, определенного (что было принято ранее) как сотая доля температурного промежутка между точками замерзания и кипения воды.

Международная практическая температурная шкала (МПТШ) представляет собой технически удобно осуществимое для практич. измерений темп-ры приближение к более точной, но труднее воспроизводимой термодинамич. шкале. Расхождения термодинамич. температурной шкалы и МПТШ невелики: в интервале 0—100°С они составляют неск. тысячных градуса, в интервале от 100° до 400°С возрастают до 0,07 *град*, достигая при 1063°С (точка затвердения золота) $\approx 1{,}5$ *град*. Воспроизводимость МПТШ высокая: она не хуже 0,01—0,03 *град* в интервале от —183° до 630°С и не хуже 0,1 *град* от 630° до 1063°С.

МПТШ основана на 6 воспроизводимых темпрах (первичные постоянные точки), к-рым присвоены числовые значения, согласованные с термодинамич. шкалой посредством газотермометрич. измерений, а также на ф-лах, устанавливающих соотношение между темп-рой и показаниями приборов, эталонированных по этим 6 точкам: кипения кислорода —182,97°С, тройной точке воды +0,01°С, кипения воды 100°С, кипения серы 444,6°С (или вместо нее затвердевания цинка 419,505°С), затвердевания серебра 960,8°С и затвердевания золота 1063°С (все значения, кроме тройной точки воды, даны при норм. атм. давлении: 101,325 *кн/м*^{2}, т. е. 760 *мм рт. ст.*). Кроме первичных, установлен ряд вспомогательных (вторичных) точек, охватывающих область от $\approx -80°$ до ≈ 3400°С, полезных при градуировках и поверках рабочих приборов.

По методам измерения, применяемым для воспроизведения, МПТШ делится на три области, а по способам интерполяции — на четыре. Интерполяц. эталонными приборами являются: в областях от —183° до 0°С (область ниже —183°С МПТШ пока не охватывает) и от 0° до 630,5°С (точка затвердевания сурьмы) — платиновый электрич. *термометр сопротивления*; в области от 630,5° до 1063°С — платинородий (90% Pt + 10% Rh)-платиновая *термопара* и в области выше 1063° С — *пирометр оптический*. Все интерполяц. приборы и методика пользования ими для воспроизведения МПТШ специфицированы международными нормативными документами.

Трактовка понятия темп-ры, приведенная выше, делает правомерным Т. и. в единицах работы, напр. в эргах, джоулях, электронвольтах и т. д. Последняя единица (1 *эв* = = 11600° К) находит применение в физике и технике плазмы и электрич. разрядов в газах.

Т. и. тела или среды может быть осуществлено двумя принципиально различными косвенными путями. Первый путь ведет к измерению значений одного из температурозависимых свойств или параметров состояния непосредственно самого тела или среды; второй — к измерению значений температурозависимых свойств или параметров состояния вспомогательного тела, приведенного (прямо или косвенно) в состояние теплового равновесия с телом или средой, темп-ра к-рых измеряется. Вспомогательное тело, служащее для этих целей и являющееся *датчиком* комплектного прибора для Т. и., наз. термометрическим (пирометрическим) зондом, или термоприемником. Поэтому все методы и приборы для Т. и. разделяются на две принципиально различные группы: беззондовые и зондовые. Термоприемник или к.-л. вспомогат. устройство прибора может быть приведено в прямое механич. соприкосновение с телом или средой, темп-ра к-рых измеряется, или же между ними может осуществляться лишь «оптический» контакт. В зависимости от этого все методы и приборы для Т. и. делятся на контактные и бесконтактные. Наибольшее практич. значение имеют зондовые контактные и бесконтактные методы и приборы.

Всем контактным, в первую очередь зондовым, методам Т. и., в отличие от других методов, свойственны т. н. тепловые или термические методич. погрешности, обусловленные

тем, что комплектный зондовый термометр (или пирометр) измеряет значение темп-ры только чувствительной части термоприемника, усредненное по поверхности или объему этой части. Между тем эта темп-ра, как правило, не совпадает с измеряемой потому, что термоприемник неизбежно искажает температурное поле, в к-рое его вносят. При измерении установившейся постоянной темп-ры тела или среды между ним и термоприемником устанавливается определенный режим теплообмена. Постоянная разность темп-р термоприемника и измеряемой темп-ры тела или среды характеризует статич. термич. погрешность Т. и. Если измеряемая темп-ра изменяется, то термич. погрешность оказывается ф-цией времени. Такую динамич. погрешность можно рассматривать как состоящую из постоянной части, эквивалентной статич. погрешности, и переменной части. Последняя возникает потому, что при всяком изменении теплообмена между телом или средой, темп-ра к-рых измеряется, новый режим теплообмена устанавливается не сразу. Обусловленное отставанием искажение показаний термометра или пирометра, являющееся ф-цией времени, характеризуется тепловой инерцией термоприемника. Тепловые погрешности и тепловая инерция термоприемника зависят от тех же факторов, что и теплообмен между телом или средой и термоприемником: от темп-р термоприемника и тела или среды, от их размеров, состава (а значит и свойств) и состояния, от конструкции, размеров, геометрич. формы, состояния поверхности и свойств материалов термоприемника и окружающих его тел, от их взаиморасположения, от того, по какому закону изменяются во времени измеряемая темп-ра тела или среды. Для сравнения различных термоприемников их тепловую инерцию количественно характеризуют временем, в течение к-рого при внезапном скачкообразном изменении измеряемой темп-ры определенных сред сигнал термоприемника изменяется до значения, отличающегося от вновь устанавливающегося на заданную величину. Напр., скачок темп-ры достигается мгновенным переносом термоприемника из тающего льда в кипящую непроточную воду и наблюдается время, в течение к-рого темп-ра термоприемника достигает значения, отличающегося от конечного на 10%. Тепловую инерцию целесообразно характеризовать величиной постоянной времени, равной времени, к-рое потребовалось бы для достижения величины на 36,8% меньшей, чем конечное ее значение. Эта величина входит в расчетные выражения теории теплообмена и автоматического регулирования. Значения постоянной времени различных термоприемников лежат в широком интервале—от 10^{-4} *сек* до 10^{4} *сек*.

Тепловые методич. погрешности Т. и., как правило, в неск. раз превосходят инструментальные погрешности термометров и пирометров. Их снижение достигается применением рациональных методик Т. и. и конструкций термоприемников и целесообразным монтажом последних на местах применения. Улучшение теплообмена термоприемника и среды или тела, темп-ра к-рых измеряется, достигается форсированием полезных и подавлением вредных факторов теплообмена. Напр., при измерении темп-ры газа в замкнутом объеме увеличивают конвективный теплообмен термоприемника с газом, создавая искусств. быстрое обтекание газом термоприемника («отсосная» термопара), и снижают лучистый теплообмен со стенками объема, экранируя термоприемник («экранированная» термопара). Для снижения тепловой инерции в термометрах и пирометрах с электрич. выходным сигналом применяют также спец. схемы, искусственно сокращающие время нарастания сигнала при быстром изменении измеряемой темп-ры.

Возможность применения контактных методов Т. и. определяется не только искажением контактным термоприемником измеряемой темп-ры, но также реальными физ.-хим. хар-ками материалов термоприемника (коррозионной и механич. стойкостью, жаропрочностью и т. д.). Бесконтактные методы измерения свободны от этих ограничений. Однако важнейшим из них, т.е. основанным на законах температурного излучения, присущи особые погрешности, обусловленные тем, что используемые законы в точности справедливы лишь для абсолютно черного излучателя, от к-рого по свойствам излучения более или менее значительно отличаются все реальные физич. излучатели (тела и среды). В соответствии с законами излучения Кирхгофа любое физич. тело излучает энергии меньше, чем черное тело, нагретое до той же темп-ры, что и физическое. Поэтому прибор для Т. и., отградуированный по черному излучателю, при измерении темп-ры реального физич. излучателя покажет темп-ру, меньшую действительной, а именно такую, при к-рой свойство черного излучателя, использованное при градуировании (энергия излучения, его яркость, его спектральный состав и т. п.), совпадает по своему значению со свойством физ. излучателя при данной действительной его темп-ре, подлежащей определению. Измеренная заниженная псевдотемпература наз. черной температурой. Различные методы лучистого Т. и. приводят к различным, как правило, не совпадающим черным темп-рам: *пирометр радиационный* показывает интегральную или радиационную, *пирометр оптический* — яркостную, *пирометр цветовой* — цветовую черные темп-ры. Переход от измеренных черных к действительным темп-рам осуществляется графически или аналитически, если известна излучат. способность объекта, темп-ра к-рого измеряется. Излучательной способностью наз. отношение значений используемого для измерения свойства излучения физ. и черного излучателей, имеющих одинаковую темп-ру: при радиационном методе излучательная способность равна отношению суммарных (по всему спектру) энергий, при оптическом — спектральная излучательная способность равна отношению спектральных плотностей энергетич. яркости. При прочих равных условиях наименьшие погрешности от нечерноты излучателя дает пирометр цветовой. Радикальное решение задачи измерения лучистыми методами действительной темп-ры нечерного излучателя достигается искусств. созданием для него условий, превращающих его в черный излучатель (напр., помещением его в практически замкнутую полость). В нек-рых частных случаях возможно измерение действительной темп-ры нечерных излучателей обычными пирометрами излучения при применении особых методик Т. и. (напр., подсветки, в лучах трех длин волн, в поляризованном свете и др.).

Температурозависимое («термометрическое») свойство или параметр состояния рабочего вещества термометра (при беззондовых измерениях—вещества, темп-ры к-рого измеряются)		Приборы для измерения температуры			
группа	наименование	№№ пп.	наименование [1]	температурозависимая измеряемая прибором величина	характеристика и примечание [2]
I. Механическая	Удельный объем (тепловое расширение)				
	а) газа	1	Газовый термометр постоянного объема	Давление газа при постоянном его объеме	М,Н, РД,Л, НИА. Неприменим для твердых тел непосредственно
		2	Газовый манометрич. термометр	Давление газа при постоянном его объеме	Давление измеряется манометром с упругим элементом. П, ОД, НО, САУ
		3	Газовый термометр постоянного давления	Объем газа при постоянном его давлении	М, Н, РД, Л, НИА. Неприменим для твердых тел непосредственно
	б) жидкости	4	Жидкостный термометр расширения	Объем жидкости (разность приращений объемов жидкости и резервуара)	Н, П, Л, НО, ДП: от —200° до 1000°С. Исполнение с контактом, замыкаемым автоматически при заданном изменении темп-ры, делает прибор годным для САУ
		5	Жидкостный манометрич. термометр	Давление в замкнутом объеме жидкости	П, ОД, НО, САУ
	в) твердого тела	6	Стержневой дилатометрич. термометр	Длина (разность удлинений) стержня и трубы из разных материалов	П, Л (в комплекте с механо-электрич. или пневматич. преобразователем может быть Д или ОД), НО, САУ
		7	Биметаллич. термометр	Изгиб (закручивание) термобиметаллич. пружины	То же
	Упругость паров, насыщающих пространство	8	Газовый, конденсац. термометр (манометрич. со сжиженным газом)	Давление паров сжиженного газа	Н, М (при низких температурах), РД, НИА, Л, ДП: от 0,5° К до 90° К
		9	Паровой манометрич. термометр	Давление паров легкокипящей жидкости	П, ОД, НО, САУ
	Вязкость вещества	10	Вискозиметрич. термометр	Вязкость газа (в частности, сжижаемого)	Н, М, РД, Л, НИА. ДП: от 1° К до 1500° К, особенно ниже 20° К
	Плотность газа	11	Акустич. термометр	Скорость распространения звука в газе или (реже) в жидкости	Н, Д, РД или НО или АН. Принципиально может быть использован как П, САУ; возможна работа по зондовому и по беззондовому методам
		12	«Ударно-волновой» термометр	Скорость распространения в газе или плазме ударной волны	Н, Р, Д, Л, НИА. В основном для горячих плазм: до 7000° К
		13	Газодинамич. «плотномерный» пирометр	Плотность сдросселированного потока газа при определенном его расходе	Н и П, Л, РД или НО. До 2000°С; только для газов. Беззондовый метод, но с обязательным вводом газа в прибор
		14	Газодинамич. «расходомерный» пирометр	Скорость истечения газа из отверстия	То же. Принципиально может быть Д, АН, САУ
		15	Альфа-ионизационный термометр	Ток ионизации в газе или плазме при облучении вспомогательным альфа-излучателем	Н, РД, Л, НИА. Используется для измерений беззондовым методом
		16	«Рентгеновский абсорбционный» термометр	Ослабление газом или плазмой рентгеновского излучения вспомогательного источника	То же
		17	«Радиотермометр (абсорбционный)»	Ослабление газом или плазмой высокочастотного электромагнитного (радио) излучения	То же
		18	«Интерференционный» термометр	Показатель преломления газа, (оцениваемый по количеству интерференционных полос)	То же

Продолжение

Температурозависимое («термометрическое») свойство или параметр состояния рабочего вещества термометра (при беззондовых измерениях—вещества, темп-ры к-рого измеряются)		Приборы для измерения температуры			
группа	наименование	№№ пп.	наименование [1]	температурозависимая измеряемая прибором величина	характеристика и примечание [2]
II. Тепловая	Теплосодержание	19	Калориметрич. пирометр-пироскоп	Теплосодержание газа или жидкости, темп-ра к-рых измеряется, или нагретого в них до этой темп-ры пробного тела, измеряемое калориметром	П, РД, Л. Для газов и жидкостей. Единичные многократные (прерывные) измерения. ДП: до 1400°С
	Фазовые переходы (плавление, размягчение, изменение химич. состава)	20	Керамич. пироскопы	Размягчение (деформация) пироскопа	П, РД, Л. Для газов обжига керамики, а тем самым и для керамики при ее обжиге. ДП: от 600° до 2000°С
		21	Термокраски	Изменение цвета краски (обратимое или необратимое)	П, РД, Л. Для поверхностей твердых тел. Единичные однократные или многократные (при обратимом изменении цвета) измерения. ДП: от 50° до 500°С
III. Магнитная	Магнитная восприимчивость парамагнитной соли	22	«Парамагнитный солевой» термометр	Индуктивность катушки индуктивности, в к-рой помещена парамагнитная соль	Н, РД, Л, НИА. Для наиболее низких темп-р (от 4° К и менее)
IV. Электрическая	Удельное электрич. сопротивление	23	Электрич. термометр сопротивления	Электрич. сопротивление термометра (терморезистора)	Н и П, Д, РД или НО или АН, САУ (см. *Термометр сопротивления*)
		24	Радиочастотный термометр сопротивления	Частота тока *RC*-генератора, в к-ром $R=f(t)$, где t—темп-ра	Н и П, Д, НО или АН. ДП: тот же, что для термометров сопротивления
	Диэлектрическая проницаемость диэлектриков	25	Радиочастотный емкостный термометр	Частота тока *RC*- или *LC*-генератора, в к-ром $C=f(t)$, где t — темп-ра	Н и П, Д, НО или АН, САУ. ДП: от —200° до +150°С
	Параметры транзисторов и полупроводниковых диодов	26	«Транзисторный» и соответственно «диодный полупроводниковый» термометр	Напряжение смещения базы при постоянном токе коллектора транзистора и соответственно вольт-амперная хар-ка полупроводникового диода	Н (возможно в принципе П), Д, РД или НО или АН, САУ. ДП: от —270° до +150°С
	Термоэлектрич. эффект	27	Термоэлектрич. пирометр (термометр)	Термоэлектродвижущая сила термопары	Н и П, Д, РД или НО или АН, САУ (см. *Термопара*)
	Тепловые шумы (флуктуации плотности электронов) в твердом проводнике	28	Термошумовой термометр	Электродвижущая сила шумов или счет числа термошумовых импульсов, превышающих заданный уровень	Н, Д, РД или АН, НИА. Принципиально может быть П и САУ. Абсолютный термометр. ДП: от 2°К до 1300° К
V. Ядерная	Ядерный квадрупольный резонанс (ЯКР)	29	«ЯКР-термометр»	Резонансная частота ядерного квадрупольного резонанса	Н, М, Л, РД или НО, НИА. ЯКР наблюдается обычно для ядра Cl^{35} в $KClO_3$. В ДП от 4°К до 300°К может быть вторичным прибором для абсолютного Т.и.
	Выход нейтронов при термоядерных реакциях в дейтериевой или дейтерий-тритиевой плазме	30	«Нейтронный» термометр	Интенсивность потока термоядерных нейтронов	Н, Л или ОД, РД или НО или АН, НИА. ДП: от 10^6 °К и более

Продолжение

Температурозависимое («термометрическое») свойство или параметр состояния рабочего вещества термометра (при беззондовых измерениях—вещества, темп-ры к-рого измеряются)		Приборы для измерения температуры			
группа	наименование	№№ пп.	наименование [1]	температурозависимая измеряемая прибором величина	характеристика и примечание [2]
VI. Излучательная	Температурное излучение — бездисперсионные методы	31	Радиационный пирометр	Суммарная энергетич. яркость, определяемая по тепловому действию излучения	Н и П, Д (очень редко Л), НО и АН, САУ (см. *Пирометр радиационный*)
		32	Пирометр оптического поглощения или «экстинкционный»	«Интегральная» (квазисуммарная) энергетич. яркость или, при наличии монохроматизирующих светофильтров в оптич. системе наблюдения излучения, спектральная (квазимонохроматическая) плотность энергетич. яркости, определяемые по поглощению (экстинкции), ослабляющему яркость до значения ниже порога чувствительности лучеприемника (напр., глаза)	П, Л, РД. ДП: 800—2000°С (принципиально возможно и выше 2000°С). Для ориентировочных экспрессных измерений
		33	Оптический (т. н. «монохроматический») яркостный пирометр	Спектральная (квазимонохроматическая) плотность энергетич. яркости излучения	М (НИА), Н и П, Л (реже Д), РД — реже НО и АН (САУ) (см. *Пирометр оптический*)
		34	Пирометр по смещению максимума интенсивности излучения	Длина волны (или частота), соответствующая макс. спектральной плотности энергетич. яркости излучения	Н, Л (возможно Д), РД (НИА). ДП: от 800°С и выше (испытан до 10^7 °К). Применяется гл. обр. в астрофизике и ядерной технике
		35	Цветовой пирометр	Относительное распределение спектральной плотности энергетич. яркости излучения	М, Н и П, Л или Д, НИА, РД или АН, САУ (см. *Пирометр цветовой*)
		36	Фотоэлектрич. интегральный пирометр	«Интегральная» (квазисуммарная) энергетич. яркость излучения, воспринятого спектрально избирательным лучеприемником-фотоэлементом	П, Д, НО или АН, САУ. ДП: 100—3000°С (принципиально ДП может быть расширен). Инструментальная погрешность для заданного изученного излучателя ±1—2% от предела измерения
		37	«Фотографический» пирометр	«Интегральная» (квазисуммарная) энергетич. яркость или, при наличии монохроматизирующих светофильтров в оптич. системе наблюдения излучения, спектральная (квазимонохроматич.) плотность энергетич. яркости излучения, воспринятого спектрально избирательным лучеприемником-фотоэмульсией и оцениваемого по оптич. плотности ее почернения	Н, Л, РД, НИА. ДП — от комнатных темп-р и до 700°С. Единичные многократные (прерывные) измерения
	Температурное излучение — спектральные (дисперсионные) методы	38	Спектропирометр (сочетание оптич. пирометра — поз. 33 — с монохроматором достаточно большого разрешения)	Спектральная (монохроматич.) плотность энергетич. яркости излучения	М, Н, НИА, Л или ОД, РД, реже АН; в перспективе П, Д, АН, САУ. ДП: от 500°С и выше. Осн. блок аппаратуры для измерений темп-р раскаленных газов, пламён и плазмы многими спектрометрич. методами: обращения спектральных линий, излучения и поглощения, абс. интенсивности насыщенного центра спектральной линии и т. п., т. е. методами, исходящими из применимости законов Кирхгофа и черного излучения к излучению отд. спектральных линий

Продолжение

Температурозависимое («термометрическое») свойство или параметр состояния рабочего вещества термометра (при беззондовых измерениях — вещества, темп-ры к-рого измеряются)		Приборы для измерения температуры			
группа	наименование	№№ пп.	наименование [1]	температурозависимая измеряемая прибором величина	характеристика и примечание [2]
VI. Излучательная		39	Спектрометр (спектрофотометр) с дополнительными устройствами, используемый для измерений температур	Вид и структура спектра в сочетании с фотометрич. хар-кой нек-рых свойств спектра в целом или отд. его линий либо полос	То же, а также теми спектральными методами, к-рые не отвечают оговоркам поз. 38, напр., по чисто доплеровскому уширению спектральной линии, по относительной интенсивности двух спектральных линий, по колебательному и по вращательному молекулярным спектрам и т. п.
	Люминесценция	40	Фотометр («люминесцентный термометр»)	Интенсивность люминесценции предварительно возбужденного фосфора	Н, НИА, Л, РД. ДП: комнатные темп-ры

[1] Наименования вида приборов, взятые в кавычки,— условные, поскольку для таких приборов отсутствуют установившиеся общепринятые наименования. [2] Диапазон применимости указан только для приборов тех видов, для к-рых нет отдельных статей в энциклопедии. Приняты след. сокращенные обозначения: АН — с автоматич. наводкой (автоматич. прибор); Д — дистанционное измерение; ДП — диапазон применимости (измеряемые темп-ры); Л — локальное измерение; М — для метрологич. работ; Н — для научных работ; НИА — осуществляется как набор измерительной аппаратуры общего назначения; НО — прибор непосредственной оценки; ОД — ограниченно-дистанционное измерение; П — для пром. использования; РД — ручного действия; САУ — возможно использование в системе автоматич. управления.

Громадный диапазон значений измеряемых темп-р — от 10^{-5} до 10^{8} °К и неисчерпаемое кол-во различных условий и объектов измерения обусловливают чрезвычайное разнообразие и многочисленность методов и приборов для Т. и. Сводка кратких хар-к различных видов приборов для Т.и., каждый из к-рых охватывает типы и модификации, объединенные по признаку температурозависимой величины, измеряемой прибором, приведена в табл. Приборы многих видов, описанные в таблице, используются для измерений различными методами. Напр., термоэлектрич. термометр (позиция 27 таблицы) используется: а) для контактного Т.и.сред и тел, а также поверхностей последних без или в сочетании с устройствами, корректирующими тепловое неравновесие термоприемника и объекта измерения; б) для бесконтактного Т. и. радиационным и нек-рыми спектроскопич. методами, также без или в сочетании со вспомогательными устройствами вышеуказанного назначения, и в) для смешанного (контактно-бесконтактного) Т. и. жидкого металла по методу газовой каверны (измерение радиационным пирометром темп-ры излучения газового пузыря, выдуваемого в жидком металле на конце погруженной в него трубки). Вместе с тем многие методы Т. и. могут быть реализованы приборами различных видов. Так, напр., темп-ра комнатного воздуха может быть измерена приборами по меньшей мере 15 видов из числа 40, указанных в таблице.

Тесно связана с Т. и. проблема измерения температурных полей, в первую очередь плоских двухмерных (к совокупности к-рых могут быть приведены двухмерные криволинейные, а также пространственные). Эта проблема решается методами визуализации: фотографирования в инфракрасных лучах; эвапорографии, т. е. теплового многоцветного отображения поля посредством испаряющейся масляной пленки на прозрачной подложке; люминесцентного отображения, и методами автоматического сканирования (построчного обегания) площади проекции температурного поля на плоскость фотоэлектрич. пирометрами спец. конструкции.

Лит.: Бродский А. Д., Новые методы измерения низких температур, М.—Л., 1962; Гордов А. Н., Основы пирометрии, М., 1964; его же, Измерения температур газовых потоков, М.—Л., 1962; Гордов А. Н. [и др.], Методы измерения температур в промышленности, М., 1952; Кадышевич А. Е., Измерение температуры пламени, М., 1961; Кульбуш Г. П., Электрические пирометры, М.—Л., 1932; Методы измерения температуры. Сб. ст., под ред. В. А. Соколова, ч. 1—2, М., 1954; Оптическая пирометрия плазмы. Сб. ст., [пер. с англ.], под ред. Н. Н. Соболева, М., 1960; Оршанский Д. Л., Измерение высоких температур контактными методами, М., 1956; его же, О физических основах понятия весьма высоких температур и особенностях их измерения, «ПиСА», 1961, № 7, с. 3—8; Поверка приборов для температурных и тепловых измерений. Сборник инструкций, М., 1963; Попов М. М., Термометрия и калориметрия, 2 изд., [М.], 1954; Рибо Г., Оптическая пирометрия, пер. с франц., М.—Л., 1934; Температура и ее измерение. Сб. докладов на III Международном симпозиуме по термометрии, сост. в г. Вашингтоне 28—30 окт. 1954 г., пер. с англ., под ред. А. Арманда и К. Вульфсона, М., 1960; Alègre R. [e. a.], Études de pyrométrie pratique, P., 1959; Baker H. D., Ryder E. A., Baker N. H., Temperature measurement in engineering, v. 1—2, N. Y., 1953—61; Eder F. X., Moderne Messmethoden der Physik, Tl 2, B., 1956, S. 1—189; Euler J., Ludwig R., Arbeitsmethoden der optischen Pyrometrie, Karlsruhe, 1960; Harrison Th. R., Radiation pyrometry and its underlying principles of radiant heat transfer, N. Y.—L., [1960]; Henning F., Temperaturmessung, 2 Aufl., Lpz., 1955; Lieneweg F., Temperaturmessung, в кн.: Handbuch der technischen Betriebskontrolle, hrsg. von J. Krönert, Bd 3, Lpz., 1959, S. 164—376; Temperature. Its measurement and control in science and industry, N. Y., 1941; v. 3, pt 1—3, N. Y.—L., 1962.

Д. Л. Оршанский.

ТЕНЗОДАТЧИК (strain gauge; capteur à jauges de contrainte; Tensogeber) — преобразователь измеряемой деформации твердых тел в электрич. сигнал; составная часть электрич. *тензометра*. Распространены Т. сопротивления (проволочные и фольговые), преобразующие деформацию в изменение электрич. сопротивления.

Действие Т. сопротивления основано на свойстве металлич. проволоки (или фольги) под воздействием деформации (растяжения или сжатия) изменять свое электрич. сопротивление. Чувствительность Т. к деформации (тензочувствительность) определяется соотношением:

$$K = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\varepsilon} = (1 + 2\mu) + \frac{\frac{\Delta \varrho}{\varrho}}{\varepsilon},$$

где K — коэфф. тензочувствительности; R — сопротивление проволоки (или решетки датчика); ε — относительная деформация проволоки; ϱ — удельное сопротивление проволоки; μ — коэфф. Пуассона для материала проволоки.

Конструктивно Т. сопротивления представляет собой решетку из проволоки или фольги, к-рая с помощью клея прикрепляется к поверхности исследуемой детали. Решетка проволочного Т. может состоять из паралл. петель (рис. 1, *а*), витков плоской катушки (рис. 1, *б*), параллельных нитей с перемычками из более толстого провода или фольги (рис. 1, *в*) или одиночной проволоки. Диаметр провода решетки 0,015—0,05 *мм*, миним. база датчика $S = 2$ *мм*, предел измеряемых деформаций 1%, номин. сопротивление 50—1000 *ом*. Решетки фольговых Т. изготавливаются травлением из фольги толщиной 0,004—0,02 *мм* (рис. 2, *а*), миним. база $S = 0{,}4$ *мм*, предел измеряемых деформаций до 2%, номин. сопротивление 50—1000 *ом*. Предусматриваются формы решетки, удобные для решения спец. задач, напр. для измерения трех компонент деформации (рис. 2, *б*, *в*), деформации в мембранах (рис. 2, *г*) и др.

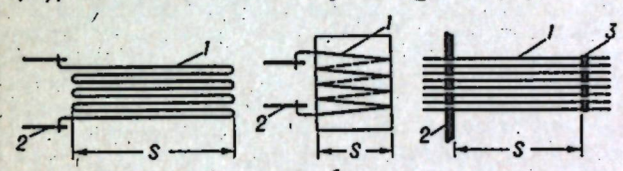


Рис. 1. Решетки проволочных тензодатчиков: *а* — петлевая; *б* — витковая; *в* — с перемычками (*S* — база датчика; *1* — решетка датчика; *2* — выводные проводники, *3* — перемычки).

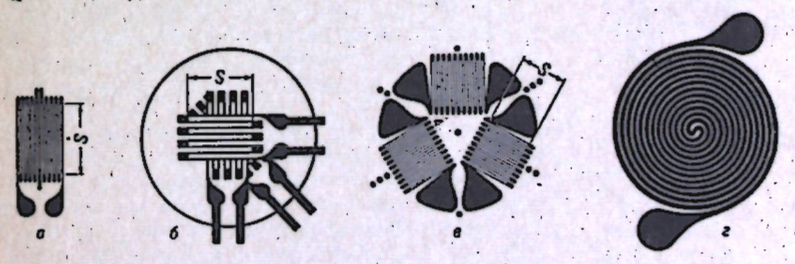


Рис. 2. Решетки фольговых тензодатчиков: *а* — для измерения одной компоненты деформации; *б* и *в* — для измерения трех компонент деформации (розетки); *г* — для измерения кольцевых деформаций (*S* – база датчика).

Для измерений при комнатных темп-рах решетки изготавливаются из константана. Для измерений при повыш. темп-рах применяются константан (до 250—300°С), сплавы типа карма и эваном (до 350—400° С), сплавы на основе никеля и молибдена (до 450—500°С), легированный нихром (до 700°С при измерении статич. деформаций и до 900° С при измерении динамич. деформаций), железо-хром-алюминиевые сплавы (до 700° С), а также сплавы на основе платины (до 1000° С при измерении динамич. деформаций). Зависимость сопротивления Т. от темп-ры (температурная хар-ка) определяется температурным коэфф. удлинения материала детали и материала решетки датчика, а также температурным коэфф. сопротивления материала решетки датчика и его тензочувствительностью. При измерениях деформаций в условиях изменяющейся температуры должны вводиться поправки на температуру или применяться схемная компенсация. Автоматич. введение поправок на температуру может быть получено при введении в конструкцию датчика дополнит. петель из проволоки, имеющей обратный (по знаку) температурный коэфф., включаемых последовательно с Т., или петель из проволоки с высоким температурным коэфф., включаемых в смежное плечо моста. На рис. 3 показан датчик из нихромовой фольги с платиновой петлей для температурной компенсации. Из нек-рых сплавов, напр. типа карма, путем спец. термообработки изготавливаются самотермокомпенсированные Т. для измерений на различных материалах. Температурная компенсация достигается в диапазоне темп-р до 350—400° С. Для более узкого диапазона темп-р самотермокомпенсированные Т. могут быть изготовлены из константана. При измерении статич. деформаций диапазон допустимых темп-р определяется стабильностью температурной хар-ки, сопротивления, коэфф. тензочувствительности Т. При измерении динамич. деформаций осн. значение имеет стабильность коэфф. тензочувствительности.

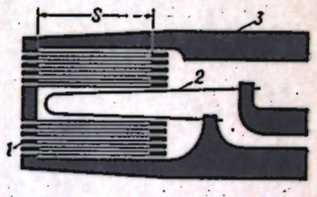


Рис. 3. Фольговый датчик с компенсационной петлей: *1* — решетка датчика; *2* — платиновая компенсационная петля; *3* — выводы (*S* — база датчика).

Т., изготовленные из указанных выше металлов, имеют коэфф. тензочувствительности, близкий к 2; применение ПП, в частности кремния, позволяет поднять его до 200, но при этом трудно обеспечить однородность и стабильность Т.

Решетка Т., предназначенного для измерений при комнатных темп-рах, имеет бумажную основу, к-рая при установке Т. приклеивается к поверхности исследуемой детали. Для измерений при повышенных темп-рах Т. изготавливаются в пленке клея или цемента без подложки или на врем. основе из полимерных материалов. Наибольшее распространение получили ацетон-целлулоидный, кремнешеллачный, эпоксидный

и карбинольный клеи (для компатных темп-р), баккелитовый и баккелито-фенольный клеи (до 150—200°С), кремнеорганич. клеи (до 500—550° С), керамич. цементы (до 700° С при статич. измерениях и до 1000° С при динамич. измерениях). Для повышенных темп-р применяют также привариваемые датчики, в к-рых тензочувствит. решетка из проволоки или фольги с помощью клея закреплена на подложке из стальной фольги толщиной 0,1—0,15 *мм*. Такие датчики полностью термообрабатываются, тарируются и сортируются по температурной хар-ке при изготовлении, что значительно повышает точность измерений.

Лит.: Приборостроение и средства автоматики. Справочник, т. 2, кн. 2, М., 1964; Методы и приборы тензометрии (Тр. совещания по методам и приборам тензометрии), Л., 1963, вып. 1, М., 1964; Туричин А. М., Электрические измерения неэлектрических величин, 3 изд., М.—Л., 1959; Туричин А. М., Новицкий П. В., Проволочные преобразователи и их техническое применение, М.—Л., 1957; Финк К., Рорбах Х., [сост.], Измерение напряжений и деформация, пер. с нем., М., 1961; Напряжения и деформации в деталях и узлах машин, под ред. И. И. Пригоровского, М., 1961; Высокотемпературные тензодатчики. Сб. ст., пер. с англ., М., 1963; Рузга З., Электрические тензометры сопротивления, пер. с чеш., М.—Л., 1961. *М. Л. Дайчик.*

ТЕНЗОМЕТР (tensiometer; tensiomètre; Tensometer, Dehnungsmesser) — прибор для измерения деформаций в твердых телах, возникающих под воздействием нагрузок. Применяется для исследования распределения деформаций в деталях машин, конструкций и сооружений, а также при механич. испытаниях материалов. По способам преобразования измеряемой величины к виду, удобному для регистрации или отсчета, различают механич., оптикомеханич., пневматич., струнные и электрич. Т.

Наиболее распространенный механич. Т. (рис. 1), закрепляемый на объекте на все время измерений, воспринимает измеряемую

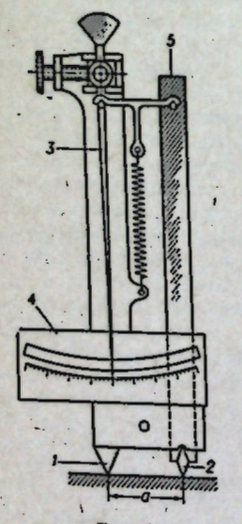


Рис. 1.

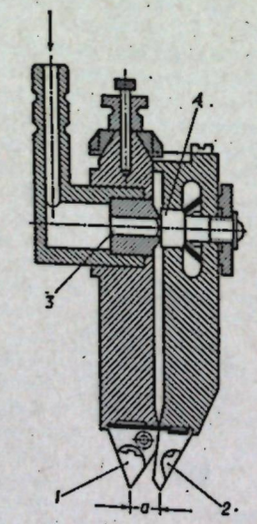


Рис. 2.

Рис. 1. Механический тензометр Гугенбергера.

Рис. 2. Пневматический тензометр: *а* — база; *1* — неподвижная призма; *2* — подвижная призма; *3* — измерит. сопло; *4* — пластинка.

деформацию с помощью двух призм (*1* и *2*), прижатых к объекту измерения, одна из к-рых (*2*) подвижна и соединена с рычажной системой *5*, передающей измеряемую деформацию стрелке *3* с увеличением до 2000 раз. Измеряемая деформация отсчитывается непосредственно по шкале *4*. База *а* тензометра (расстояние между призмами) 10 или 20 *мм*. Погрешность измерения деформаций в обычных условиях не превышает ± 0,3 *мк*. Механич. Т. измеряют только статич. деформации в узком диапазоне темп-р.

В оптико-механич. Т. судят об измеряемой деформации по углу отклонения светового луча, преломляемого призмами. Оптико-механич. Т. применяются для измерения деформаций при норм. и повыш. темп-рах и пригодны для регистрации динамич. деформаций сравнительно невысоких частот путем фиксации перемещения светового луча на движущуюся фотопленку. База тензометра от 12 *мм* и больше. Погрешность измерений не более ±1%.

В пневматич. Т. для измерения деформации используется изменение перепада давления в сопле при изменении его эффективного сечения от перемещения пластинки, находящейся в непосредств. близости от выходного отверстия. Пневматич. Т. позволяют измерять деформации на сравнительно малой базе (1—4 *мм*) при высокой чувствительности, но применимы только для измерения статич. деформаций. На рис. 2 показан пневматич. Т. с базой 2 *мм*, позволяющий уверенно измерять относит. деформации от $1 \cdot 10^{-5}$.

Струнные Т. представляют собой натянутую струну, концы к-рой закреплены на исследуемой детали. При деформации детали изменяется натяжение струны, что вызывает изменение частоты ее собств. колебаний. Струнные Т. используются в автоколебат. схемах и в схемах с импульсным возбуждением затухающих колебаний. Колебания струны возбуждаются дистанционно с помощью электромагнита и индуктируют в обмотке этого же или др. электромагнита эдс, к-рая используется для введения в схему возбуждения автоколебаний или для измерения частоты затухающих колебаний. Частота колебаний измеряется также дистанционно с помощью электронных частотомеров. Струнные Т. широко применяются при длительных испытаниях (до неск. лет) бетонных сооружений и грунтов. При использовании струнных Т. в схемах автоколебаний возможно измерение статич. и динамич. деформаций с частотой до 100 *гц*. База струнных Т. 20—200 *мм*, частота колебаний струны 500—5000 *гц*. Предел измерений $(1—2) \cdot 10^{-3}$ относит. единиц деформаций, погрешность измерений ± 0,5% от предела, погрешность измерений за год не превышает 3%.

Самое широкое распространение получили электрич. Т., позволяющие производить дистанц. измерения статич. и динамич. деформаций в широком диапазоне частот в различных сложных условиях (в агрессивных средах, при высоких и низких темп-рах и давлениях, при воздействии радиац. облучения и т. п.) и отличающиеся высокими метрологич. качествами. В электрич. Т. для преобразования измеряемой деформации в электрич. сигналы используют параметрич. *тензодатчики*: сопротивления, индуктивные и емкостные. Датчики включаются в мостовые или потенциометрич. схемы. Для измерения и фиксации результатов применяется нулевой метод (статич. и медленно-изменяющиеся деформации) или метод усиления и регистрации сигналов, вызванных изменением рабочего параметра

датчика (динамич. деформации). В приборах для измерения статических и медленно изменяющихся деформаций применяется как ручное уравновешивание мостовых схем с тензодатчиками, с отсчетом результатов измерений по шкале реохорда, так и автоматич. непрерывное (рис. 3) и дискретное уравновешивание. В первом случае результаты измерений фиксируются в виде диаграммы, во втором — в цифровой или кодовой форме, пригодной для ввода данных в вычислит. машины для обработки результатов измерений. Приборы для измерения статич. деформаций обычно снабжаются переключателями датчиков, позволяющими одним прибором измерять деформации во многих точках, и имеют чувствительность от $1 \cdot 10^{-6}$ до $1 \cdot 10^{-5}$ относит. единиц деформации. Приборы с автоматич. уравновешиванием применяются для регистрации деформаций, изменяющихся во времени с частотой, не превышающей неск. *гц*. Измерение и регистрация процессов, содержащих более высокие частоты, обычно производится небалансными методами (рис. 4). При необходимости регистрации деформаций, содержащих пост. и перем. составляющие, применяют питание мостов перем. напряжением, частота $f_н$ к-рого в 5—10 раз превышает макс. частоту регистрируемого сигнала $F_{p\,макс}$. Наиболее распространенные приборы, предназначенные для работы с тензодатчиками (с регистрацией на шлейфовом осциллографе), имеют $f_н = 3—4$ *кгц*, $F_{p\,макс} = 500$ *гц*, $f_н = 7—10$ *кгц*, $F_{p\,макс} = 1500$ *гц* и $f_н = 30—50$ *кгц*, $F_{p\,макс} = 7000$ *гц*. Для регистрации динамич. процессов (без пост. составляющей) применяют питание мостовых или потенциометрич. схем с датчиками сопротивления пост. током с последующим усилением с помощью усилителей перем. напряжения и регистрацией на шлейфовый или катодный осциллографы. При использовании катодного осциллографа макс. частота процесса может достигать 50—100 *кгц*. Для обеспечения длительной регистрации деформаций с последующей автоматич. обработкой результатов на специализированных вычислит. машинах применяется магнитная запись с частотной, широтно-импульсной или кодовой модуляцией. Индуктивные и емкостные датчики, кроме упомянутых выше мостовых схем, включаются также в схемы частотной модуляции в качестве элементов колебат. контуров. *М. Л. Дайчик.*

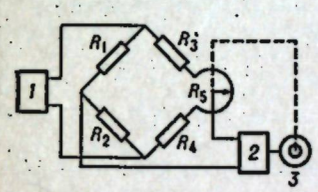


Рис. 3.

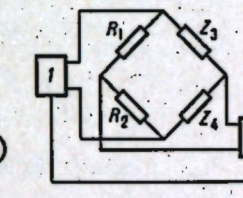


Рис. 4.

Рис. 3. Структурная схема электрич. тензометра с автоматическим непрерывным уравновешиванием: *1* — источник питания моста (на перем. или пост. токе); *2* — нуль-орган; *3* — реверсивный двигатель; R_1, R_2 — рабочий и компенсац. датчики; R_3, R_4 — регулируемые плечи моста; R_5 — реохорд, механически связанный с осью реверсивного двигателя.

Рис. 4. Структурная схема прибора для регистрации динамич. деформаций: *1* — источник питания (на перем. или пост. токе); *2* — усилитель с фазочувствит. детектором (при питании моста перем. током); *3* — регистратор (шлейфовый или катодный осциллограф, электромеханич. регистратор); R_1, R_2 — рабочий и компенсац. датчики; Z_3, Z_4 — регулируемые плечи моста (по активной и реактивной составляющим).

Получили распространение **полупроводниковые** Т.: неоднородные и однородные. К первым относятся Т. из неоднородных по физ. св-вам ПП: прессованных порошков, поликристаллов, монокристаллов с *p—n*-переходами. При деформации ПП происходит изменение его сопротивления R на границе участков с различными св-вами. Причинами изменения R могут быть изменения: площади контакта между зернами, высоты потенциального барьера на границе зерен или участков *p*- и *n*-типов. Примерами таких Т. служат угольные Т. (коэфф. тензочувствительности $K = \Delta R/R\varepsilon \simeq 20$), Т. из прессованного порошка PbS ($K \simeq 2000$) и ПП диоды. Недостатки неоднородных ПП Т.: слабая стабильность и воспроизводимость св-в, чувствительность к атм. воздействиям. Однородные ПП Т. изготовляют из монокристаллов. Они обладают: $K = 100—200$, стабильностью и воспроизводимостью св-в, удовлетворит. линейностью хар-к, нечувствительностью к атм. воздействиям, возможностью измерения статич. и динамич. деформаций. К недостаткам их можно отнести заметную температурную зависимость ρ и K ($\rho \simeq T^{-(1,5—2,2)}$; $K \simeq 1/T$) и зависимость K от кристаллографич. направления. Разрабатываются Т. из *полупроводников вырожденных*, к-рые в довольно широком интервале темп-р должны иметь слабо изменяющиеся значения ρ и K. Однородные Т. из Ge и Si применяются в качестве динамометров и экстензометров, измерителей крутильных деформаций, акселерометров консольного и компрессионного типов и при конструировании микрофонов. Значения K для монокристаллов нек-рых ПП в оптимальном направлении приведены в таблице.

Материал	ρ (ом·см)	K
n-Ge	16,6	—157
p-Ge	1,1	+192
n-Si	11,7	—170
p-Si	7,8	+175
p-GaSb	$3{,}85 \cdot 10^{-3}$	—226
»	$1{,}20 \cdot 10^{-3}$	—172
n-PbTe	10^{-2}	— 30
p-PbTe	10^{-2}	+125
p-PbSe	$6 \cdot 10^{-3}$	+ 40
p-Bi_2Te_3	$2{,}8 \cdot 10^{-3}$	+ 30

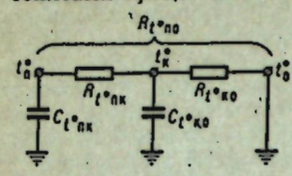
Примечание. В *p*-Bi_2Te_3 оптим. направление [1000]; в *n*-Si — [100], для др. ПП—[111].

Лит.: Арсеньева-Гейль А. Н., Применение полупроводников в тензометрии, в кн.: Полупроводники в науке и технике, т. 2, М.—Л., 1958, с. 299; Geyling F. T., Forst J. J., Semiconductor strain transducers, «Bell System Techn. J.», 1960, v. 39, № 3, p. 705. *Ю. В. Илисавский.*

ТЕПЛОВОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОГО ПРИБОРА (thermal resistauce of a semiconductor devices; résistance thermique d'un appareil à semi-conducteurs; Wärmewiderstand der Halbleitergeräte) — величина, характеризующая процессы теплопередачи от электронно-дырочного перехода ПП прибора по отношению к приложенной к нему мощности, равная отношению разности темп-р, возникающей между корпусом прибора (окружающей средой) и переходом к выделяемой электрич. мощности:

$$R_{t^\circ} = \frac{t^\circ_п - t^\circ_0}{P} \ (град/вт). \qquad (1)$$

По физ. смыслу Т. с. п. п. аналогично электрич. сопротивлению. Эквивалентная схема тепловых процессов в ПП приборе приведена на рис. (справедлива при $C_{t°пк} \leqslant C_{t°ко}$).



Эквивалентная схема тепловых процессов в ПП приборе: $t°_п$ — темп-ра перехода; $t°_к$ — темп-ра корпуса; $t°_0$ — окружающая темп-ра; $R_{t°пк}$ — тепловое сопротивление участка электронно-дырочный переход—корпус; $R_{t°ко}$ — тепловое сопротивление участка корпус — окружающая среда; $R_{t°по}$ — суммарное тепловое сопротивление участка электронно-дырочный переход — окружающая среда; $C_{t°пк}$ — теплоемкость объема электронно-дырочный переход — корпус; $C_{t°ко}$ — теплоемкость теплоотвода (корпус — окружающая среда).

Количество тепла, отводимое в единицу времени через плоский слой вещества, подчиняется закону Фурье:

$$Q_0 = \delta \frac{s}{l}\left(t°_п - t°_0\right), \qquad (2)$$

где δ — уд. теплоемкость материала, s — его сечение, l — длина.

Учитывая связь между количеством тепла и мощностью: $Q = 0{,}24\ P$, можно рассчитать тепловое сопротивление каждого элемента конструкции ПП прибора по ф-ле:

$$R_{t°} = 0{,}24\ \frac{l}{\delta s}. \qquad (3)$$

Расчет Т. с. п. п. сводится к расчету теплового сопротивления ряда i прилегающих друг к другу параллельных слоев:

$$R_{t°} = \sum_i R_{t°i} = 0{,}24 \sum_i \frac{l_i}{\delta_i s_i}. \qquad (4)$$

Т. с. п. п. зависит от материала и геометрии элементов конструкции.

Приведенные выше соотношения справедливы при следующих упрощающих предположениях: все рассеиваемое тепло выделяется на *электронно-дырочном переходе*, рассматривается установившийся тепловой режим; пренебрегается теплоотводом боковых стенок ПП прибора, а также конвекц. обменом и тепловым излучением.

Знание Т. с. п. п. важно при расчете тепловых режимов его работы, т. к. темп-ра кристалла зависит от подводимой к нему мощности и от процессов отвода тепла от кристалла. Величина Т. с. п. п., наряду с предельно допустимой темп-рой перехода, служит его параметром. Для транзисторов большой и ср. мощности, работающих с радиаторами, указывается тепловое сопротивление, электронно-дырочный переход—корпус прибора, для маломощных — электронно-дырочный переход — окружающая среда (в задачу конструктора радиоэлектронного устройства входит обеспечение теплоотвода от электронно-дырочного перехода ПП прибора и создание т. о. большой мощности рассеяния, большого тока или напряжения). Для диодов в большинстве случаев тепловое сопротивление не указывается, т. к. в качестве параметра, в основном определяющего тепловой режим их работы, принимают значение предельно допустимого выпрямл. (прямого) тока при данной темп-ре (среды или корпуса). Это очевидно из соотношения для однополупериодной схемы выпрямления:

$$P = 2U_{ср} I_{ср} = \frac{t°_п - t°_0}{R_{t°}};\ \text{при}\ U_{ср} \approx 1\ в$$

$$I_{ср} \approx \frac{1}{2R_{t°}}\left(t°_п - t°_0\right).$$

Мощность, рассеиваемая ПП прибором и вызывающая разогрев перехода до предельно допустимой темп-ры, принимается за предельно допустимую мощность, она может быть рассчитана по ф-ле:

$$P_{пд} = \frac{t°_п - t°_0}{R_{t°}}.$$

Значение предельно допустимых коллекторных токов транзистора в большинстве случаев ограничивается также темп-рой перехода и связано с Т. с. п. п. соотношением:

$$I_{пд} = \sqrt{\frac{t°_п - t°_0}{nR_э R_{t°}}},$$

где $n = 1$ для транзисторов с высоким усилением по току и $n = 2$ с низким усилением, $R_э$ — сопротивление насыщения при предельной темп-ре.

Значение предельно допустимого коллекторного напряжения транзистора из условия теплового пробоя также связано с Т. с. п. п. соотношением:

$$U_{пд} \leqslant \frac{A}{R_{t°} S I_{ко}},$$

где $S = \frac{\Delta I_к}{\Delta I_{ко}} = \frac{1}{R_э/R_б + 1/B}$ — коэфф. нестабильности схемы; $I_{ко}$ — обратный ток коллектора при рассматриваемой темп-ре; A — коэфф., зависящий от класса ПП прибора и темп-ры (напр., для германиевых сплавных транзисторов при +70° С $A = 12{,}75$); $R_э$, $R_б$ — суммарные внешние сопротивления в цепях эмиттера и базы; B — коэфф. усиления транзистора по пост. току.

Значения тепловых сопротивлений некоторых типов ПП приборов

Тип прибора	Тепловое сопротивление ПП прибора (*град/вт*): электронно-дырочный переход—корпус	электронно-дырочный переход—окружающая среда	Тип прибора	Тепловое сопротивление ПП прибора (*град/вт*): электронно-дырочный переход—корпус	электронно-дырочный переход—окружающая среда
Д2	—	~260	П701	10	—
Д219	—	~180	П213	3,5	—
Д813	—	~140	П216	2,0	—
П416	—	400	П210	1,0	—
1Т303	—	400	Д215	1,0	—
1Т403	15	—			

Лит.: Михеев М. А., Основы теплопередачи, 3 изд., М.—Л., 1956; Чиркин В. С., Теплопроводность промышленных материалов, М., 1957.

В. В. Мокряков.

ТЕПЛОВОЙ ПРОБОЙ полупроводниковых приборов (thermal breakdown in semiconductors; effet thermique dans les semiconducteurs; Wärmedurchschlag in Halbleitern) — необратимое изменение, возникающее вследствие нарушения теплового баланса.

Если во всем интервале допустимых темп-р справедливо неравенство:

$$P_{выд}(T) \geqslant P_{рас}(T), \qquad (1)$$

где $P_{выд}(T)$ и $P_{рас}(T)$ — выделяющаяся и рассеиваемая прибором мощности, T — темп-ра p—n-перехода, то при любой флуктуации ($\Delta P_{выд} > 0$ или $\Delta P_{рас} < 0$) развивается Т. п. Если во всем интервале допустимых темп-р выполняется условие: $d^2P_{выд}(T)/dT^2 > 0$, то Т. п. развивается в интервале темп-р, для к-рого справедлива система неравенств:

$$\left.\begin{aligned} P_{выд}(T) &\geqslant P_{рас}(T); \\ \frac{dP_{выд}(T)}{dT} &\geqslant \frac{dP_{рас}(T)}{dT} \end{aligned}\right\}. \qquad (2)$$

В реальном рабочем интервале темп-р, когда можно пренебречь долей теплообмена, обусловленной излучением,

$$P_{рас}(T) = \frac{T - T_0}{R_T}, \qquad (3)$$

где T_0 — темп-ра окружающей среды, R_T — тепловое сопротивление переход — среда. Тогда условие (2) запишется:

$$\left.\begin{aligned} P_{выд}(T) &\geqslant P_{рас}(T); \\ \frac{dP_{выд}(T)}{dT} &\geqslant \frac{1}{R_T} \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

(в интервале темп-р, где величину R_T можно считать постоянной).

Соответственно, тепловая устойчивость обеспечивается, если:

$$P_{выд}(T_{ст}) = P_{рас}(T_{ст}) \qquad (5)$$

и

$$\left.\frac{dP_{выд}(T)}{dT}\right|_{T=T_{ст}} < \frac{1}{R_T}, \qquad (6)$$

где $T_{ст}$ — стационарная темп-ра p—n-перехода. Равенство (5) определяет темп-ру p—n-перехода в стационарном режиме и наз. критерием стационарности. Неравенство (6) определяет устойчивость стационарного режима и наз. критерием устойчивости (см. также *Тепловое сопротивление полупроводникового прибора*).

Ю. А. Шифрин-Крыжаловский, В. С. Митин.

ТЕРМИСТОР — см. *Термосопротивление полупроводниковое.*

ТЕРМОАНЕМОМЕТР — см. *Расходомер тепловой.*

ТЕРМОБАТАРЕЯ (thermal battery; thermopile; thermobosterie Thermobatterie) — последоват. соединение ПП *термоэлементов полупроводниковых* для получения большей электрич. мощности или холодопроизводительности (при работе соответственно в термогенераторном или охлаждающем режимах). Холодильные Т. могут быть компактными (из непосредственно примыкающих друг к другу термоэлементов) и разнесенными по поверхности охлаждаемой камеры. В последнем случае металлич. перемычки, соединяющие спаи термоэлемента, одновременно служат теплообменным оребрением. Для повышения холодильного коэфф. охлаждающих устройств или получения перепада темп-р, большего, чем максимально дает термоэлемент, применяют многокаскадные Т. При увеличении числа каскадов разность темп-р, создаваемая Т., будет непрерывно возрастать, однако применение более трех каскадов нецелесообразно вследствие технологич. и теплотехнич. трудностей. Холодильные Т. служат основой охлаждающих термоэлектрич. приборов, применяемых в радиоэлектронике, медицине, метеорологии и др. (см. также *Термоэлектрическое охлаждение, Термоэлектрический холодильник, Термостат полупроводниковый*).

Е. К. Иорданишвили.

ТЕРМОИОННАЯ ЭМИССИЯ (thermionic emission; émission thermoinique; thermoionische Emission) — испускание ионов накаленными телами. Различают Т. э. металлов и Т. э. химически сложных тел (нек-рых минералов, солей, стекол и др.). Т. э. металлов есть испускание ионов самого металла (собственная Т. э.) либо ионов др. веществ, находящихся в объеме или на поверхности металла в виде примесей или загрязнений. Т. э. с поверхности изучена наиболее полно и наз. поверхностной ионизацией. При достижении атомов или молекул поверхности раскаленного металла нек-рая часть их отлетает от нее в виде нейтральных частиц, а другая — в виде положит. или отрицат. ионов. Для количеств. хар-ки явления вводят понятие о «степени поверхностной ионизации» α, численно равной отношению числа ионов n_i нек-рого вещества к числу атомов n_a того же вещества, испущенных эмиттером за данное время: $\alpha = n_i/n_a$. Т. э. химически сложных тел находится в стадии изучения. Об испускании накаленными телами электронов см. *Термоэлектронная эмиссия.*

Лит.: Рейман А. Л., Термоионная эмиссия, М.—Л., 1940; Добрецов Л. Н., Электронная и ионная эмиссия, М.—Л., 1952.

ТЕРМОМЕТР СОПРОТИВЛЕНИЯ [resistance thermometer; thermomètre à (de la) résistance; Widerstandstemperaturmesser] — датчик температуры, устройство к-рого основано на св-ве металлов и ПП изменять свое электрич. сопротивление при изменении темп-ры. Достоинства Т. с.: высокая точность измерения темп-ры и стабильность показаний, возможность автоматич. записи и передачи показаний на расстояние.

Чувствительный элемент Т. с. изготовляется из платины, меди, реже из никеля, имеющих температурный коэфф. электрич. сопротивления приблизительно от $4{,}0 \cdot 10^{-3}$ до $6{,}5 \cdot 10^{-3}$. В лабораторной практике иногда пользуются Т. с. из вольфрама и молибдена. Наиболее широкое применение в пром-сти получили платиновые и медные Т. с. Сопротивление R_t платины и меди в зависимости от темп-ры t находится по ф-лам: для платины при t от 0° до 630° С $R_t = R_0\ (1 + At + Bt^2)$; для платины при t от 0° до — 260° С $R_t = R_0[1 + At + Bt^2 + Ct^3(t - 100)]$; для меди при t от —50° до +180° С $R_t = R_0(1 + \alpha t)$, где R_0 — сопротивление Т. с. при 0° С; A, B, C — постоянные коэфф., определяемые при градуировке Т. с.; α — температурный коэфф. сопротивления меди.

Данные промышленных типов Т. с. приведены в таблице.

Пром. Т. с. исполняются как погружные (длина монтажной части от 10 до 3200 *мм*), поверхностные и для измерения темп-ры помещений с большой (до 4 мин.), средней (до 1 мин. 20 сек.) и малой (до 9 сек.) инерци-

Тип термометра сопротивления	Марка	Интервал темп-р (°С)	Номинальное сопротивление R_0 при 0 °С (ом)	Обозначение градуировки	Допустимое отклонение от номинального значения сопротивления при 0° С (%)		
					класс I	класс II	класс III
Платиновый	ТСП	—200+650	10	Гр. 20	±0,05	±0,1	—
			46	Гр. 21			
			100	Гр. 22			
Медный	ТСМ	—50+180	53	Гр. 23	—	±0,1	±0,1
			100	Гр. 24			

онностью. Верхний температурный предел платиновых Т. с. ограничивается интенсивностью испарения платиновой проволоки и механич. прочностью применяемых материалов, а медных — интенсивностью окисления меди при повышенных темп-рах.

Интенсивно ведутся работы по расширению верхнего предела применения платиновых Т. с.

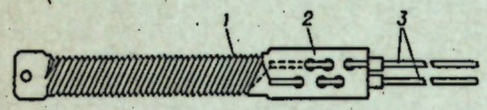


Рис. 1. Слюдяной чувствительный элемент термометра сопротивления: *1* — обмотка; *2* — каркас; *3* — вывод с втулкой.

до 1300° С и кратковременно до 1600° С с использованием монокристаллич. и поликристаллич. проволок. Сопротивление R_0 такого Т. с. составляет при 0° С 0,1; 0,5; 1 *ом* (низкоомные Т. с.). Диаметр платиновой проволоки 0,2—0,5 *мм*. Для установления (интерполяции) промежуточных темп-р между осн. постоянными точками стоградусной шкалы в интервале от —183° до 630° С и проверки образцовых Т.с. служат эталонные Т. с., изготовляемые из платины, обладающей макс. чистотой, определяемой отношением сопротивлений при 100° и 0°С, к-рое не должно быть меньше 1,391. Измерит. устройства Т. с. питаются от источника постоянного или перем. тока напряжением в неск. *в*. В комплекте с Т. с. ($R_0 = 100$; 46 *ом*) применяются гл. обр. неуравновешенный или уравновешенный мост, а при лабораторных измерениях — термометрич. мосты или потенциометры. В комплекте с низкоомными Т. с. (R_0=0,1; 0,5; 1 *ом*) работают компенсаторы перем. тока, к к-рым термометры подключа-

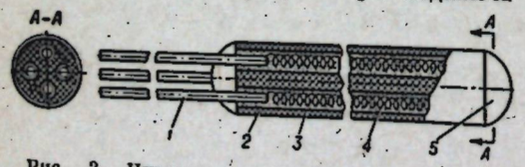


Рис. 2. Чувствительный элемент термометра сопротивления на керамич. каркасе: *1* — выводы элемента; *2* — керамический каркас; *3* — засыпка изоляц. порошком; *4* — измерит. спираль; *5* — термоцемент.

ются по четырехпроводной линии. Применяются также *термосопротивления полупроводниковые*, температурный коэфф. к-рых в 5—10 раз больше, чем у металлов. Конструктивно Т. с. пром. изготовления оформляются аналогично *термопарам* (рис. 1, 2).

Лит.: Кочан В. А., Лах В. И., «Приборы и средства автоматизации», 1961, № 8; Гордов А. Н. [и др.], Методы измерения температур в промышленности, М., 1952; Преображенский В. П., Теплотехнические измерения и приборы, 2 изд., М.—Л., 1953; Стадник Б. И., Лах В. И., Пажанница И. Ф., Авторское свидетельство, № 147343, 1962.

ТЕРМООБРАБОТКА полупроводника (heat treatment of semiconductor; traitement thermique d'une semi-conducteur; Wärmebehandlung eines Halbleiters) — нагревание и охлаждение ПП по заданной программе с целью изменения его электрофизич. свойств. Изменяются: кристаллич. модификация, плотность дислокаций, концентрация вакансий или дефектов структуры, тип проводимости, концентрация, подвижность и время жизни носителей заряда; последние 4, кроме того, могут быть связаны с взаимодействием примесей и дефектов структуры или с диффузией примесей в объеме кристаллов.

Нагревание образцов *германия* до темп-ры >550° с последующим быстрым охлаждением приводит к появлению термоакцепторов (см. *Акцептор*) в концентрациях тем больших, чем выше темп-ра. Последующий отжиг при той же темп-ре восстанавливает первоначальное уд. сопротивление. Вероятный механизм этого явления: растворение в решетке германия меди, диффундирующей с поверхности или ранее осажденной на дислокациях; медленный отжиг приводит к осаждению меди на структурных дефектах и уходу ее из решетки. Возможно также и возникновение новых дефектов структуры при быстром охлаждении. Оба эти механизма могут уменьшать время жизни, что и устанавливается экспериментально.

В *кремнии* при темп-рах 350—500° происходит образование термодоноров в концентрациях тем больших, чем больше кислорода растворено в кремнии при выращивании кристалла (см. *Донор*). При более высоких темп-рах термодоноры уничтожаются. Нагревание до темп-р в пределах 700—1300° резко уменьшает время жизни неосновных носителей заряда (при >1000° определяющую роль играет диффузия примесей с поверхности). Нагрев кремния при 1000—1300° оказывает влияние на оптич. поглощение и рассеяние света.

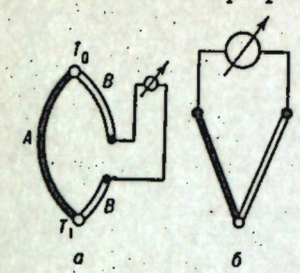
В процессе изготовления селеновых выпрямителей производится нагревание *селена* при темп-рах 130° и 218°, при этом аморфный черный селен переходит в кристаллич. серую форму и его уд. сопротивление уменьшается на неск. порядков величины.

Лит.: Полупроводники в науке и технике, т. 1, М.—Л., 1957; Данлэп У., Введение в физику полупроводников, пер. с англ., М., 1959; Conwell E. M., «Proc. I. R. E.», 1958, v. 46, № 6, p. 1281.

В. И. Мордкович.

ТЕРМОПАРА [thermocouple; couple thermoélectrique (thermocouple); Thermoelement] — датчик темп-ры, состоящий из двух соединенных между собой разнородных металлич. проводников (или полупроводников). Действие Т. основано на возникновении термоэдс (тэдс) в контуре, составленном из 2 различных металлов со спаями, нагретыми до различных темп-р; тэдс для каждой пары металлов зависит только от темп-р спаев. Цепь Т. (рис. 1)

состоит из термоэлектродов *A* и *B*; один спай Т. помещается в измеряемую среду и наз. рабочим концом Т., второй — свободным. В зависимости от темп-р T_1 и T_0 в спаях возникают соответственно тэдс e_{T_1} и e_{T_0}, направленные встречно. В цепи Т. действует результирующая тэдс: $E_{T_1T_0} = e_{T_1} - e_{T_0} = f(T_1 - T_0)$. Для устранения влияния колебаний темп-ры свободных концов Т. они термостатируются или используются спец. схемы с автоматич. компенсацией. В стандартной Т. термоэлектроды помещены в стальную или керамич. защитную трубку *2*, поддерживаемую штуцером *3*



а *б*

Рис. 1. Элементы термопары: *а* — с подключением прибора в разрыв термоэлемента; *б* — с подключением прибора в свободные концы.

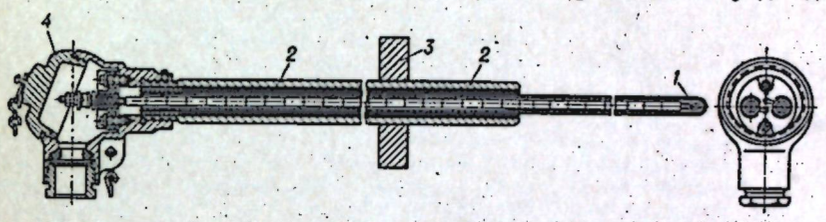


Рис. 2. Стандартная термопара в разрезе.

(рис. 2). Рабочий конец Т. *1* расположен в закрытой части чехла; свободные концы термоэлектродов соединены с двумя зажимами, находящимися в головке *4*. Длина термоэлектродов не превышает 2—3 *м*.

Для измерения тэдс в контур Т. посредством соединит. и компенсац. проводов включается чувствит. показывающий или самопишущий электроизмерит. прибор со шкалой, проградуированной в *мв*, *мкв* или градусах абс. шкалы. Компенсац. провода, входящие в комплект термоэлектрич. пирометра, служат для отвода свободных концов Т. в зону с известной или постоянной темп-рой. К каждому свободному концу Т. подключают соответствующий компенсац. провод (положит. к положит. термоэлектроду, отрицат. к отрицат. термоэлектроду). Оба компенсац. провода подбирают так, чтобы составленная из них Т. при темп-ре рабочих концов 100° С и свободных концов 0° С развивала тэдс, близкую к тэдс той Т., в схему к-рой введены данные компенсац. провода. Термопары, тэдс к-рых в диапазоне темп-р 0—100°С близка к 0 (напр., Т. марки ПР30/6), не требуют применения компенсац. проводов и термостатирования или компенсации темп-ры свободных концов.

Наибольшее распространение получили след. Т.: платинородий (10% родия) — платина с пределами измерения при длит. применении до 1300° С и при кратковременном — до 1600° С; платинородий (30% родия) — платинородий (6% родия) с пределами измерения при длит. применении 300—1600° С, при кратковременном — до 1800° С; вольфрамрений — вольфрамрений с пределами измерения до 2300—2500° С в вакууме и нейтральной среде; графит—карбид титана—до 2500° С в вакууме, нейтральной и восстановит. среде; графит — борид циркония — до 2000° С в вакууме, нейтральной среде и до 1700° С в расплавленном металле; хромель — алюмель—до 1300° С; хромель—копель — до 800° С; медь — копель — от —260° до 500° С; железо — константан — от — 200° до 800° С; медь — константан — от 260° до 500° С. Для измерения темп-ры расплавленного металла до 1800° С применяется молибден — вольфрам, вольфрам — графит и графит — графит.

В зависимости от конструкции и назначения различают Т.: погружные и поверхностные; с обыкновенной, взрывобезопасной, влаго- и водозащищенной головками, а также без головки (со спец. заделкой выводных концов); незащищенные от воздействия измеряемой среды и защищенные; негерметичные и герметичные; обыкновенные, вибротряскоустойчивые и ударопрочные (до 3,5 мин.), со средней (до 1 мин.) и малой инерционностью (до 40 сек.), а также с ненормированной инерционностью; однозонные и многозонные (в зависимости от числа зон, в к-рых измеряется темп-ра), одинарные и двойные (по числу рабочих концов для измерений в одной зоне); стационарные и переносные.

Лит.: Гордов А. Н. [и др.], Методы измерения температур в промышленности, М., 1952; Преображенский В. П., Теплотехнические измерения и приборы, 2 изд., М.—Л., 1953; Методы измерения температуры. Сб. ст., под ред. В. А. Соколова, ч. 2, М., 1954; Стадник Б. И., Самсонов Г. В., Термопары для измерения высоких температур, «Теплофизика высоких температур», 1964, № 4.

ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ (heat converter; convertisseur thermique; Thermoumformer., Temperaturwandler) — устройство для измерения перем. тока, состоящее из электрич. нагревателя перем. тока и термопары (рис. 1), в к-рой под действием тепла нагревателя создается термоэдс (см. *Термопара*). Термоэдс, вызванная разностью темп-р рабочего конца *C* и свободных концов *M* и *N*, создает ток в контуре термопары, в к-рый включен измеритель магнитоэлектрич. системы *Г*. Типы Т.: контактный, у к-рого горячий спай термопары непосредственно присоединен к нагревателю (рис. 2, *а*); крестообразный («термокрест»), образованный наложением двух проволок из разнородных материалов крест-накрест (рис. 2, *б*) (применяется редко, т. к. пригоден только для малых токов и обеспечивает невысокую точность измерения); бесконтактный, у к-рого рабочий спай отделен от нагревателя (рис. 2, *в*). Для уменьшения потерь тепла на излучение

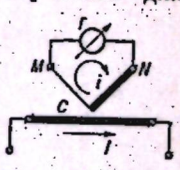
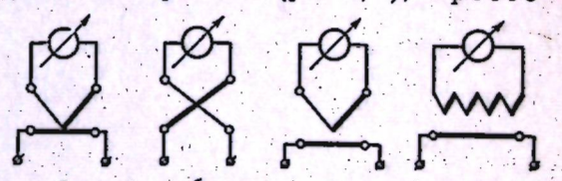


Рис. 1. Принципиальная схема термопреобразователя.



а *б* *в* *г*

Рис. 2. Схемы термопреобразователей различных типов: *а* — контактного; *б* — крестообразного; *в* — бесконтактного; *г* — многоэлементного.

и повышения чувствительности Т. помещаются в вакуум и строятся бесконтактными многоэлементными (рис. 2, *г*). Сов. пром-сть выпускает вакуумные бесконтактные Т. типа ТВБ и контактные типа ТВ, осн. хар-ки к-рых приведены в таблице.

Тип термопреобразователя	Номинальный ток (*ма*)	Номинальная термоэдс (*мв*)	Сопротивление (*ом*)		Допустимая перегрузка в % от номинального тока
			нагревателя	термопары	
ТВБ-1	1	2,5	600	40	150
ТВБ-2	3	5	200	35	150
ТВБ-3	5	10	150	35	150
ТВБ-4	10	12	60	15	150
ТВБ-5	30	12	13	15	150
ТВБ-6	50	12	7	5	150
ТВБ-7	100	12	3	5	150
ТВБ-8	300	12	1	3	150
ТВБ-9	500	12	0,8	2	120
ТВ-4	50	30	12	12	120
ТВ-5	75	30	8	8	120
ТВ-2	100	30	6	6	120
ТВ-14	250	30	2	2	120
ТВ-15	500	30	1,1	1,1	120
ТВ-16	1000	30	0,6	0,6	120

Лит.: Ремез Г. А., Радионамерения, 2 изд., М., 1960; Червякова В. И., Термоэлектрические приборы, М.—Л., 1963.
И. С. Хаенко.

ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ (thermal resistor; résistance thermosensible; Wärmewiderstand) — температурозависимое проводниковое или полупроводниковое электрич. сопротивление, используемое в качестве датчика или для целей температурной компенсации. Температурная зависимость сопротивления с нек-рой погрешностью выражается линейным ур-нием:

$$R = R_0[1 + \alpha(t - t_0)],$$

где R и R_0 — значения сопротивления при темп-рах t и t_0; α — температурный коэфф. сопротивления; для проводниковых Т. α — положителен, для полупроводниковых — отрицателен.

Проводниковые Т., используемые в качестве датчиков температуры, наз. *термометрами сопротивления*.

В качестве датчиков темп-ры используются также *термосопротивления полупроводниковые* (термисторы). Термисторы отличаются от проводниковых Т. менее линейной зависимостью сопротивления от темп-ры, значительно большим абс. значением температурного коэфф., меньшей стабильностью и большими допусками на R_0 и α.

Т., применяемые в качестве датчиков скорости потока газа (анемометров) и вакуума, нагреваются протекающим через них фиксированным током. Темп-ра Т. зависит от теплоотдачи с поверхности Т. в окружающее пространство. Теплоотдача в анемометрах зависит от скорости потока газа, омывающего поверхность Т., а в вакуумметрах — от степени вакуума внутри сосуда, куда помещен датчик.
Е. Л. Львов.

ТЕРМОСОПРОТИВЛЕНИЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВОЕ, термистор (semiconductor thermosensitive resistor; résistance thermosensible semi-conductrice; Halbleiterwärmewiderstand, Thermistor), — объемное электрич. сопротивление с высоким отрицат. температурным коэфф. и нелинейной вольтамперной хар-кой, изготовленное из ПП материала. В 1933 были изготовлены первые образцы Т. п. из двуокиси урана. В СССР выпускается свыше 20 типов Т. п.: ММТ-1, КМТ-1 и др. — для измерения и регулирования темп-р; ММТ-8, КМТ-8, ТКП-1 и др. — для термокомпенсации различных элементов электрич. цепи. Для систем теплового контроля с использованием релейного эффекта (см. *Реле тепловое*) применяются Т. п.: КМТ-10 и КМТ-11. При измерении СВЧ мощности от долей *мквт* до единиц *мвт* используются Т. п.: Т8Д, Т9, ТШ-1 и др. На основе Т. п. типов ТП2/0,5, ТП2/2, ТП6/2 разработаны стабилизаторы напряжения. Помимо Т. п., нагревающихся при протекании через них тока или повышении темп-ры окружающей среды, выпускаются Т. п. косвенного подогрева, имеющие спец. нагреватель: ТКП-20, ТКП-50 и др.; они используются в качестве регулируемых бесконтактных сопротивлений. Конструктивное оформление Т. п. различно: прутики, трубочки, диски, бусинки (напр., микротермопара для измерения темп-ры живых организмов — герметизированная стеклом бусинка ПП с тончайшими выводами) и др. В массовом произ-ве Т. п. изготавливаются методом спекания порошковых материалов, в основном из смесей окислов переходных металлов, обладающих электронной проводимостью: окислов меди и марганца, окислов кобальта и марганца, двуокиси титана и окислов магния, кобальта и ванадия, смеси двуокиси титана и окиси магния; применяются также сульфиды и селениды; для низких темп-р Т. п. изготовляют на основе германия и др.

Электропроводность ПП σ зависит от темпры T в нек-ром ее интервале (для ПП, применяемых для изготовления термосопротивлений, при темп-рах 20—150°С) как следствие изменения концентрации носителей заряда и подчиняется экспоненциальному закону:

$$\sigma = A \cdot \exp(-B/T), \qquad (1)$$

где A и B — постоянные, зависящие от физ. св-в материала. Сопротивление прибора

$$R = R_\infty \cdot \exp(B/T), \qquad (2)$$

где R_∞ — постоянная, зависящая от A и размеров Т. п. Ф-ла (2) может быть дана в более удобном для практич. целей виде:

$$R = R_{20} \cdot \exp B\left(\frac{T_{20} - T}{T_{20}T}\right), \qquad (3)$$

где R_{20} — т. н. холодное сопротивление Т. п. (сопротивление при темп-ре $T_{20} = 20°$ С); $B = -\alpha_T \cdot T^2$; α_T — температурный коэфф. сопротивления. Величина R_{20} для пром. Т. п.: от 5—40 *ом* (ТКИ-1) до 100—3000 *ком* (КМТ-11); α_{20} достигает 6% (для сравнения: α для платины 0,37%).

Статич. вольтамперная хар-ка Т. п. (зависимость напряжения U от протекающего тока I в условиях теплового равновесия с окружающей средой) вначале линейна (соблюдается закон Ома), т. к. при малых токах мощность, рассеиваемая Т. п., мала и оно не нагревается ($dU/dI > 0$). По мере возрастания тока рассеиваемая мощность увеличивается, происходит нагревание прибора и его сопротивление падает, а крутизна вольтамперной хар-ки (рис. 1) уменьшается. При нек-рой величине тока $I_{макс}$ напряжение достигает макс. значения $U_{макс}$ и далее начинает уменьшаться ($dU/dI < 0$). При больших токах $dU/dI \to 0$, сохраняя отрицат. знак. Установлено, что форма вольтамперной хар-ки данного Т. п. определяется параметрами A и B, темп-рой окружающей среды T_0 и коэфф. рассеивания H (числовым отношением рассеиваемой в Т. п. мощности, в *вт*, к превышению темп-ры Т. п. над темп-рой окружающей среды, в °С); величина H зависит от теплопроводности, давления и скорости движения окружающей среды. Форму вольтамперной хар-ки можно изменить в желат. сторону, соединяя Т. п. последовательно, параллельно или более сложным образом (между собой или присоединяя пост. сопротивления, емкости, индуктивности). В нек-рых случаях применения Т. п. (напр., как реле времени) существенны динамич. хар-ки (кривые, изображающие изменение во времени сопротивления, темп-ры, силы тока и др., вызванное увеличением или уменьшением одного из параметров, характеризующих режим цепи). Обычно о временны́х хар-ках Т. п. судят по величине постоянной времени τ (время, в течение которого избыточная темп-ра при свободном охлаждении уменьшается на 63% от первоначального значения); для ММТ-4 τ=85 сек. (в воздухе), а для измерит. Т. п. типа Т8Д, Т9, ТШ-1 τ = 0,5—2,5 сек.

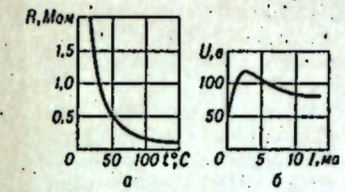


Рис. 1. Хар-ки термистора КМТ-4: *а* — температурная; *б* — вольтамперная.

Преимущества Т. п. в сравнении с аналогичными приборами: большая температурная чувствительность; малые габариты (рис. 2) и вес (для ТКИ, напр., 0,5—2,5 *з*) и поэтому малая тепловая инерция; значит. срок службы (5000 час. для ТП 2/0,5); простота устройства; большая стабильность в работе, если темп-ра не превосходит макс. допустимого значения (интервал рабочих темп-р Т. п. находится в пределах от —70°С до +180° С). Недостаток Т. п.: наличие разброса параметров — сопротивления R_{20} (до ±20%) и температурного коэфф. α_{20} (±0,2%).

Недавно разработанные на основе ферритов лития — $Li_2O(Fe_2O_3)_5$, марганца — $MnOFe_2O_3$ и др. Т. п. (в связи с наличием излома температурной характеристики сопротивления в точке Кюри) при температурах 500—600°С имеют высокие значения α=2—38 (при 293°С α=3,5—23), R=10^3—10^{12} *ком*, τ=0,1 сек. и выше. Использование намагниченных ферритовых термосопротивлений позволило создать избират. измерители мощности, спектроанализаторы, магнитометры, отличающиеся высокой точностью и большим диапазоном измерений (1000—100 000 *мгц*). При дальнейших разработках Т. п. необходимо применение ПП материалов, способных выдерживать более высокие рабочие темп-ры, при значительном температурном коэфф. сопротивления.

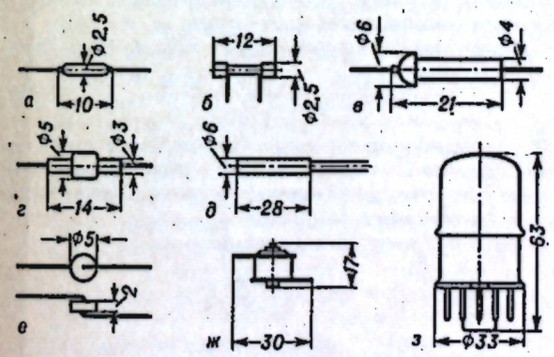


Рис. 2. Габариты ПП термисторов: *а* — Т8С1М, Т8С3М, Т8М, Т8Р, Т8Е, Т8Д, Т9; *б* — ММТ-1, КМТ-1; *в* — ММТ-4, КМТ-4; *г* — ММТ-5; *д* — КМТ-10; *е* — ТОС-М; *ж* — ММТК-1, ММТК-2; *з* — ТП2/0,5, ТП2/2, ТП6/2, ТКП-300, ТКП-450.

Лит.: Коломиец Б. Т., «Э-во», 1947, № 3, с. 20; Шефтель И. Т., Термосопротивления, М., 1958; Удалов Н. П., Полупроводниковые термоуправляемые сопротивления, М., 1959; Лаврищенко В. Ю., Справочник по полупроводниковым приборам, К., 1962, с. 5—21; Нечаев Г. К., Полупроводниковые термосопротивления в автоматике, К., 1962; Полупроводники и их применение в технике, под ред. И. Ф. Волошина, Минск, 1963, с. 26—92; Богданов Г. В., Бокрицкая А. А., Ферритовые термисторы, К., 1964.
А. Э. Наджип.

ТЕРМОСТАТ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ (semiconductor thermostat; thermostat à semiconducteurs; Halbleiterthermostat) — ПП прибор, поддерживающий постоянную темп-ру в рабочем объеме путем поглощения (выделения) тепла термоэлектрич. батареей. Регулирование темп-ры Т. п. основано на свойстве *термобатареи* поглощать (выделять) тепло пропорционально величине протекающего через него тока. Это позволяет осуществлять термостатирование как при повышенных, так и при пониженных темп-рах (чаще используется второе) и повышает возможности регулирования. Холодные спаи термобатареи обычно подводятся к медной камере, теплоизолированной, напр., пенопластом, защищенным алюминиевым кожухом. Отвод тепла от горячих спаев термобатареи осуществляется естественно-воздушным, принудительно-воздушным методами или, предпочтительно, проточной водой. Питается Т. п. от сильноточных источников низкого пост. напряжения (см. *Термоэлектрический холодильник*). Схемы поддержания темп-ры аналогичны обычно применяемым при автоматич. регулировании; что касается датчика темп-ры, то в Т. п. в большой степени используют термисторы (см. *Термосопротивление полупроводниковое*) и термопары.

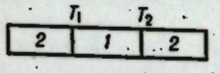
Т. п. наиболее удобны и экономичны при термостатировании объектов с малым тепловыделением и в связи с этим они нашли наибольшее применение в ПП электронике и метрологии: 1) Микро Т. п., понижающие темп-ру на 60° относительно окружающей среды и стабилизирующие ее с точностью ±0,1° (ø 47 *мм*, h=60 *мм*, 150 *з*, потребляемая мощность 3 *вт*); этот прибор позволил значительно снизить величину собственных шумов *фотосопротивлений*, повысить их чувствительность, улучшить стабильность. 2) Т. п., стабилизирующие окружающую температуру транзисторов и ПП диодов, частоту кварца, обеспечивая поддержание темп-ры на уровне 30±0,1° С, при изменении внешней темп-ры от —50°С до —70°С. 3) Ультратермостаты, поддерживающие в объеме 6 *л* темп-ру 200±0,01° С при колебании темп-ры окружающей среды от 10° до 30° С; применяются при стабилизации радиоэлектронных устройств и в

лабораторной практике (время установления темп-ры в отсутствие термостабилизируемых тел — 10 мин. при наличии 2 нормальных элементов — 2 час., потребляемая мощность 100 *вт*). 4) Прецизионные ультратермостаты, поддерживающие 0° С с точностью до ±0,001° при темп-ре окружающей среды 0—40° С и охлаждении водой в пределах 0—30° С (ø100 *мм*, *h*=120 *мм*); предназначены для измерений темп-р и градуировки термопар. 5) Термокриостаты для проверки образцовых термометров, позволяющие осуществить ступенчатое регулирование темп-ры в пределах плюс 20°—минус 20°С, при точности установления заданной темп-ры ±0,02°; время выхода на заданную темп-ру 25—30 мин.; градиент в радиальном и осевом направлениях не превышает 0,005 *град/см*. 6) Спец. Т. п. с объемом рабочей камеры 3,75 *л*, обеспечивающий поддержание темп-ры с точностью ±0,1° при мощности 150 *вт* и расходе воды 100 *л/час*; применяется при производстве нафталина, где должна быть обеспечена темп-ра 0 — минус 5° С. 7) Спец. Т. п., работающие при необходимости в режиме охлаждения или нагревания, обеспечивающие пост. темп-ру 18° С; применяются в кинофотоработах (потребляемая мощность 1020 *вт* и расход воды 350 *л/час*). 8) Холодильно-отопит. термоэлектрич. батареи, обеспечивающие кондиционирование воздуха в помещении путем подачи теплого или холодного воздуха.

Лит.: Иоффе А. Ф. [и др.], Термоэлектрическое охлаждение, М.—Л., 1956; Полупроводники в науке и технике, т. 2, М.—Л., 1958, с. 217—89; Коленко Е. А., Термоэлектрические охлаждающие приборы, М.—Л., 1963; Жузе В. П., Гусенкова Е. И., Библиография по термоэлектричеству, М.—Л., 1963.

А. Э. Наджип.

ТЕРМОЭДС (thermo — e. m. f.; force électromotrice thermoélectrique; Thermokraft, Thermoeffekt) — электродвижущая сила, возникающая в электрической цепи, состоящей из последовательно соединенных неоднородных ПП (проводников). Простейшая цепь, состоящая из проводника *1* и двух одинаковых проводников *2*, контакты между которыми поддерживаются при разных температурах T_1 и T_2, изображена на рисунке. Из-за разности темп-р на концах проводника *1* средняя кинетич. энергия носителей заряда вблизи горячего спая оказывается больше, чем вблизи холодного. Носители диффундируют от горячего контакта к холодному и последний приобретает потенциал, знак которого определяется знаком носителей. Аналогичный процесс происходит и в ветвях 2-й части цепи. Разность этих потенциалов и есть термоэдс



$$V_T = \int_{T_1}^{T_2} [\alpha_1(T) - \alpha_2(T)]\, dT,$$

где $\alpha_1(T)$ и $\alpha_2(T)$ — дифференц. термоэдс (или коэфф. термоэдс) проводников *1*, *2*.

Эффект, обратный этому термоэлектрич. эффекту (наз. эффектом Зеебека), состоящий в нагреве одного из контактов с одновременным охлаждением другого при пропускании через цепь пост. электрич. тока, наз. эффектом Пельтье. Оба эффекта используются в *термоэлектрических генераторах* и *термоэлектрических холодильниках* (см. также *Термоэлектрические свойства полупроводников*).

Р. А. Сурис.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВ (проводников) (thermoelectric properties of semiconductors; propriétés thermoélectriques des semi-conducteurs; thermoelektrische Eigenschaften der Halbleitern) обусловлены связями между тепловыми и электрич. потоками: эффект Зеебека — возникновение *термоэдс* в цепи неоднородных ПП (проводников), при различных темп-рах ее участков; эффект Пельтье — поглощение или выделение тепла на контакте 2 различных ПП (проводников) при пропускании через них пост. электрич. тока; эффект Томсона — поглощение или выделение тепла (сверх джоулевого) в объеме ПП (проводника) при пропускании через него пост. электрич. тока при наличии градиента темп-р.

Коэфф. Пельтье Π и Томсона τ, определяющие выделение тепла (в единицу времени) на контакте и в объеме ПП, связаны с дифференц. термоэдс соотношениями:

$$\Pi = \alpha T, \qquad (1)$$

$$\tau = T\,(\partial\alpha/\partial T). \qquad (2)$$

Поэтому для количеств. описания всех термоэлектрич. явлений в ПП необходимо знать величину α.

Для невырожденных ПП *n*- или *p*-типа

$$\alpha = -\frac{k}{q}\left(\frac{5}{2} - s - \frac{\mu}{kT}\right), \qquad (3)$$

где k — постоянная Больцмана, q — заряд носителя, μ — уровень Ферми, T — темп-ра. При выводе ф-лы (3) предполагалось, что время релаксации носителей зависит от их энергии E как E^{-s}, где показатель s определяется механизмом рассеяния.

Для сильно вырожденных ПП и металлов

$$\alpha = \frac{\Pi^2 k}{q} \cdot \frac{kT}{\mu}\left(\frac{1}{2} - \frac{s}{3}\right). \qquad (4)$$

Т. к. условием сильного вырождения служит неравенство $kT/\mu \ll 1$, из выражения (4) следует, что дифференц. термоэдс металлов и вырожденных ПП мала.

Для ПП смешанного типа

$$\alpha = \frac{\alpha_l\sigma_l + \alpha_h\sigma_h}{\sigma_l + \sigma_h}, \qquad (5)$$

где $\sigma_{l(h)}$ и $\alpha_{l(h)}$ — электропроводность и дифференц. термоэдс электронов (дырок), вычисленные в отсутствие дырок (электронов).

Эксперимент. исследования показали, что при низких темп-рах к выражению α надлежит добавить слагаемое α_ϕ, обусловленное т. н. эффектом увеличения электронов фононами:

$$\alpha_\phi = \frac{1}{3} \cdot \frac{k}{q} \cdot \frac{m v_\phi^2}{kT} \cdot \frac{\tau_\phi}{\tau_e}, \qquad (6)$$

где v_ϕ — скорость звука, τ_ϕ и τ_e — время релаксации фононов и носителей заряда. Явление это связано с тем, что из-за взаимодействия фононов с носителями заряда поток фононов, направленный от горячего конца образца к холодному, увлекает за собой носителей, что приводит к возникновению дополнит. эдс. Эффект увлечения оказывается

существенным при темп-рах ниже 30° К для Ge и 100° К для Si.

Величина дифференц. термоэдс может доходить до 10^3 *мкв/град* [см. также *Термоэлектрическое охлаждение* (нагревание), *Термоэлектрический генератор*, *Термобатарея*, *Термостат полупроводниковый*, *Термоэлектрический холодильник*, *Тепловое сопротивление полупроводникового прибора*, *Тепловой пробой*].

Лит.: Иоффе А. Ф., Физика полупроводников, [2 изд.], М.—Л., 1957; Полупроводники в науке и технике, т. 1, М.—Л., 1957, гл. 4; Смит Р., Полупроводники, пер. с англ., М., 1962; Ансельм А. И., Введение в теорию полупроводников, Л.—М., 1962; Полупроводники. Сб. ст., под ред. Н. Б. Хеннея, пер. с англ., М., 1962.

Р. А. Сурис.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР (thermoelectric generator; générateur thermoélectrique; thermoelektrischer Generator) — устройство для непосредств. (безмашинного) преобразования тепловой энергии в электрическую. Конструктивной ячейкой Т. г. служит ПП *термоэлемент полупроводниковый*. При прохождении теплового потока через *p*- и *n*-ветви Т. г. на нем возникает разность темп-р, что ведет к появлению *термоэдс* в ветвях Т. г., а при замыкании на внешнюю нагрузку — к выделению на ней полезной электрич. мощности. Основным критерием энергетич. выгодности Т. г. служит величина $z = \alpha^2\sigma/\varkappa$, характеризующая термоэлектрич. св-ва вещества *p*- и *n*-ветвей Т. г. [см. *Термоэлектрическое охлаждение* (нагревание)]. Согласно теории, кпд Т. г.

$$\eta = \frac{T_0 - T_1}{T_0} \cdot \frac{\sqrt{1 + \frac{1}{2}z(T_0 + T_1)} - 1}{\sqrt{1 + \frac{1}{2}z(T_0 + T_1)} + T_1/T_0},$$

где T_0 и T_1 темп-ры горячего и холодного спаев Т. г. Первый множитель в выражении для η — кпд идеальной тепловой машины (цикл Карно), второй (всегда<1) — величина снижения кпд за счет необратимых процессов в ветвях Т. г. Первые модели Т. г. конца 19—нач. 20 вв., изготовленные на основе металлич. сплавов, имели кпд, равный долям %. Лишь с появлением *полупроводниковых соединений* и ПП термоэлементов Т. г. начали проникать в энергетику; их кпд может достигать 8—10% для $T_0 - T_1 = 400°$ и 15—18% для $T_0 - T_1 = 1000°$ (при $T_1 = 300°$ К). Для работы при больших разностях темп-р подбирают вещества с оптимальными значениями z для каждой температурной области каскадных Т. г., что значительно повышает их кпд. Наиболее эффективными для интервала темп-р 300—600° К служат глубоко легированные твердые растворы: Bi_2Te_3 — Bi_2Sc_3 (*n*-тип) и Bi_2Te_3 — Sb_2Te_3 (*p*-тип) с величинами z, достигающими $(3{,}0—3{,}5)\cdot10^{-3}\ \frac{1}{град}$. Для более высоких темп-р используют соединения: PbTe, PbSe, $AgSbTe_2$, GeTe и твердые растворы на их основе. Существуют два режима работы Т. г.: макс. электрич. мощности и макс. кпд. В первом режиме сопротивление $R_{тг}$ Т. г. равно сопротивлению нагрузки $R_н$, во втором

$$R_{тг} = R_н \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{2}z(T_0 + T_1)}.$$

В зависимости от назначения Т. г. содержат термоэлементы различной конфигурации (имеют различные сопротивления). Для питания батарейных радиоприемников и межколхозной радиостанции «Урожай» используют, напр., ТГК-3 и ТГУ-1 с полезной мощностью 3 и 15 *вт*. Т. г. обладает рядом преимуществ: отсутствие движущихся частей, абс. безопасность кз, неогранич. срок хранения агрегата, возможность получения любого соотношения между пост. напряжением и током в пределах даваемой мощности и др. Более широкое внедрение Т. г. становится возможным с появлением новых веществ с бо́льшими значениями z, особенно в области высоких темп-р. Источниками тепла могут служить специально сжигаемое топливо или тепловые отходы газов, использованных в двигателях, тепловое излучение реакторов, доменных печей, теплоцентралей и др.

Лит.: Иоффе А. Ф., Полупроводниковые термоэлементы, М.—Л., 1960; Воронин А. Н., Полупроводниковые термоэлектрогенераторы, Л., 1957.

Е. К. Иорданишвили.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ХОЛОДИЛЬНИК (thermoelectric cooler; refrigérateur thermoélectrique; thermoelektrischer Kühlschrank) — охлаждающий прибор, работающий на принципе поглощения тепла в контакте разнородных материалов при прохождении через него тока определенного направления [см. *Термоэлектрическое охлаждение* (нагревание)]. Контактирующая пара для достижения наибольшего эффекта охлаждения изготавливается из ПП, обладающих разными знаками коэфф. *термоэдс* и имеющих макс. термоэлектрич. эффективность в рабочем интервале темп-р. Термоэлементы для Т. х. путем последоват. соединения объединяются в *термобатарею* в виде плоской плиты (при использовании ПП в форме прямоугольных параллелепипедов) или цилиндра (при применении ПП шайб), при этом горячие и холодные спаи оказываются разнесенными в разные стороны. Радиаторами батареи, забирающими и отдающими тепло, служат пластины (медные, алюминиевые), к-рыми коммутируются термоэлементы. В др. случаях применяются спец. металлич. радиаторы, изолированные от термобатареи (термоблока) слюдяными пластинками толщиной 20—30 *мк*, покрытыми смесью алюминиевой пудры с силиконовым лаком. Подлежащий охлаждению предмет иногда припаивается или приклеивается непосредственно на холодный радиатор батареи. В иных случаях для размещения объекта изготавливается термоизолированная камера в виде двух, вставленных друг в друга, металлич. кожухов (из меди, алюминия), пространство между к-рыми заполняется теплоизоляц. материалом (обычно пенопластом); для отбора тепла из рабочего объема холодный радиатор соединяется с внутр. кожухом. Отвод «откачанного» из объема и выделенного на батарее джоулева тепла от горячих спаев осуществляется путем естеств. теплообмена с воздухом (для повышения эффективности радиатор изготавливают ребристым) или испарением циркулирующей воды; в стационарных Т. х. предпочтение отдается охлаждению проточной водой; для отвода тепла может быть использована 2-я термоэлектрич. батарея (таким каскадированием достигается более глубокое общее термоэлектрич. охлаждение). Для питания Т. х. используют сильноточные источники небольшого пост. напряжения: выпрямители на германиевых диодах Д302, ВГ-10-15, ВГ-10-150 и др., серебряно-цинковые аккумуляторы 3-СЦ-5 и 8-СЦ-45, *термоэлектрические генераторы*.

Первые Т. х. разработаны в 1956 в СССР. В СССР и за границей создано св. 60 видов Т. х. для использования в астрономии, ядерной физике, электронике, вакуумной технике, метрологии, медицине и во мн. др. областях науки, техники, с. х-ва, быта. Ниже приводятся примеры нек-рых применений Т. х.: 1) В сцинтилляционном анализе (напр., природного C^{14}) Т. х. применяются в фотоумножителях ФЭУ—19М (осуществляется снижение темп-ры относительно комнатной на 30—35° С; стационарный режим достигается за 40—50 мин.). 2) Для этих же фотоумножителей на основе двухкаскадной термобатареи разработаны Т. х., обеспечивающие охлаждение фотокатода и первых эмиттеров (для подавления термоэлектронной эмиссии) на 55°. 3) Для фотоумножителей, работающих в астрономич. следящих системах наблюдения, созданы Т. х., ограничивающие темновой ток и повышающие порог чувствительности. 4) С применением Т. х. сконструированы высоковакуумные ловушки для диффузионных паромасленных (ЦВЛ-100, Н-5 и др.) и паррутных (для мощных ртутных выпрямителей) насосов; темп-ра поверхности, на к-рой происходит конденсация, достигает —52° С (остаточные пары масла полностью вымораживаются при —40° С). 5) Для определения типа проводимости образца ПП по знаку коэфф. термоэдс используется термозонд, на острие к-рого через 2 мин. после включения тока (20 *а*, 1,4 *вт*) устанавливается темп-ра —17°С. 6) При помощи термоэлектрич. микротомов достигается охлаждение до —20° С, что позволяет получать срезы мозговой ткани толщиной 4—6 *мк*. 7) Нек-рые кожные заболевания излечиваются при местном охлаждении кожи на 8—10° при применении спец. термоэлектрич. микрохолодильника. 8) Создан бытовой Т. х. «Айсберг-3» объемом 125 *л* с естеств. воздушным съемом тепла и т. д.

Меняя величину тока через Т. х., можно легко регулировать темп-ру на рабочих спаях термобатареи; изменением направления тока через Т. х. термобатарея превращается в нагреватель. Эти возможности позволили создать *термостаты полупроводниковые*.

Т. х. обладают существ. преимуществами перед другими методами охлаждения. Охлаждение криостатными смесями, обдувом охлажденным воздухом, твердой углекислотой и т. п. технически и эксплуатационно трудно и неудобно; охлаждение водой не всегда достаточно; применение жидкого азота, дросселирование жидкой углекислоты затрудняют контроль темп-ры и автоматизацию. При объеме камеры менее 1 *л*, при выделении тепла не более 5—10 *вт* Т. х. наиболее экономичны, а иногда и незаменимы. Достоинства Т. х.: простота конструкции, отсутствие движущихся частей и веществ, вызывающих коррозию, практически неогранич. срок службы, невысокая стоимость при массовом производстве, небольшие вес и габариты. Недостаток Т. х.: необходимость непрерывного электропитания (отключение его приводит к быстрому повышению темп-ры в рабочем объеме).

Лит.: Иоффе А. Ф. [и др.], Термоэлектрическое охлаждение, М.—Л., 1956; Коленко Е. А., Термоэлектрические охлаждающие приборы, М.—Л., 1963.

А. Э. Наджин.

ТЕРМОЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ (нагревание) (thermoelectric cooling; refroidissement thermoélectrique; thermoelektrische Kühlung) — понижение (повышение) темп-р в электрич. цепи на основе эффекта Пельтье. При приложении прост. разности потенциалов к цепи, состоящей из двух ПП (проводников), имеющих разную зонную структуру, в местах контактов выделяется или поглощается (в зависимости от направления тока) нек-рое количество тепла, как следствие перехода носителей заряда из одного ПП (проводника) в другой, при этом они теряют часть энергии, преодолевая энергетич. барьер (происходит охлаждение), либо приносят с собой добавочную потенц. энергию (переходящую в кинетическую), «скатываясь» с барьера (происходит нагревание).

Количество тепла, выделяемое (поглощаемое) на контакте в единицу времени, $Q_П = \pm(\alpha_1 - \alpha_2)IT$, где α_1 и α_2 — коэфф. *термоэдс* веществ, I — сила тока в цепи и T — темп-ра спаев. Термоэлектрич. охлаждение осуществляется с применением ПП *термоэлементов полупроводниковых*. При непрерывном рассеянии тепла с горячих спаев термоэлементов на холодных их спаях будет стационарно поддерживаться пониженная темп-ра. С увеличением силы тока темп-ра снижается до тех пор, пока не наступает динамич. равновесие поглощенного тепла Пельтье с потоком тепла, поступающего с горячих спаев вследствие теплопроводности веществ и за счет части тепла Джоуля, выделяющегося на холодном спае. Согласно теории, максимально достигаемая при этом разность темп-р $\Delta T_{макс} = \frac{1}{2} z T_1^2$, где T_1 — абс. темп-ра холодного спая, а $z = \alpha^2\sigma/\varkappa$ — эффективность вещества ветвей термоэлемента (σ и $\varkappa$ уд. электро- и теплопроводности вещества термоэлемента). Для изготовления холодильных термоэлементов используют глубоко легированные твердые растворы: Bi_2Te_3—Bi_2Se_3 (n-тип); Bi_2Te_3—Sb_2Te_3 (p-тип) с величинами z, достигающими $3{,}5\cdot10^{-3}\ \frac{1}{град}$ (у p-типа) и $3{,}0\cdot10^{-3}\ \frac{1}{град}$ (у n-типа).

Однокаскадная *термобатарея* при темп-ре горячего спая 300° К обеспечивает снижение на 60—65°; трехкаскадная — свыше 100°.

Т. о. (нагревание) имеет ряд преимуществ перед машинными способами: бесшумность работы термоэлементов; отсутствие движущихся и изнашивающихся деталей, корродирующих хладоагентов; практически неогранич. срок службы агрегатов. При наличии веществ с $z \geqslant 4\cdot10^{-3}\ \frac{1}{град}$ домашние термоэлектрич. холодильники окажутся более экономичными, чем существующие компрессионные. В науке и технике, где часто необходимо охлаждение малых объемов (до неск. *л*), способ Т. о. (нагревания) во многих случаях оказывается единственно пригодным (см. *Термоэлектрический холодильник*). Используя обратимость эффекта Пельтье, осуществляют термостабилизацию (изменение полярности приложенного напряжения превращает холодный спай в горячий) при темп-ре, более низкой, чем окружающая (см. *Термостат полупроводниковый*). С получением веществ, имеющих $z \simeq (5\text{—}6)\cdot10^{-3}\ \frac{1}{град}$, Т. о. (нагревание) еще больше проникнет в нар. х-во (кондиционирование воздуха в помещениях, мощные холодильные машины, рефрижераторы и т. п.).

Лит.: Иоффе А. Ф. [и др.], Термоэлектрическое охлаждение, М.—Л., 1956; его же, Физика полупроводников, [2 изд.], М.—Л., 1957; Полупроводники в науке и технике, т. 2, М.—Л., 1958.

Е. К. Иорданишвили.

ТЕРМОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ (thermal electron emission; emission thermo-ionique; Glühelektronenemission) — испускание электронов накаленными телами. Т. э. исследовалась в твердых телах и особенно в металлах и ПП в связи с использованием их как материала для термоэлектронных катодов электронных приборов и преобразователей тепла в электрич. энергию. Явление потери отрицат. электричества телами при их нагревании до темп-ры выше белого каления известно с конца 18 в. В. В. Петров (1812), Т. А. Эдисон (1889) и др. установили ряд качественных закономерностей этого явления. К 30-м гг. 20 в. были определены основные аналитич. зависимости между числом эмиттированных электронов, темп-рой тела и *работой выхода*.

Аналитич. выражения для температурной зависимости плотности тока Т. э. могут быть получены термодинамич. и квантовомеханич. методами. В первом случае эмиссия электронов рассматривается как процесс их испарения. При условии равенства нулю теплоемкости электронного газа внутри твердого тела, а также при отсутствии взаимодействия между электронами как внутри, так и вне эмиттера плотность тока Т. э.

$$j = A_0(1-\overline{R})\,T^2 \exp(-e\varphi/kT), \qquad (1)$$

где A_0 — термоэлектронная постоянная ($a\cdot см^{-2}\cdot град^{-2}$), $\overline{R}$ — средний коэфф. отражения электронов, T — темп-ра тела (°К), e — заряд электрона ($к$), k — постоянная Больцмана, φ — теплота испарения в среднем на один эмиттированный электрон в *эв* (или работа выхода). Квантовомеханич. метод описания Т. э. предполагает нек-рую определ. модель электронного газа внутри тела. При условии, что электроны внутри твердого тела подчиняются статистике Ферми—Дирака, плотность тока Т. э.

$$j = A_0\overline{D}T^2 \exp[-(e\psi_0 - \mu)/kT], \qquad (2)$$

где ψ_0 — потенциальный барьер на границе твердого тела, препятствующий выходу свободных электронов (*эв*), $\overline{D}$ — средняя прозрачность поверхностного потенциального барьера, μ — электрохимич. потенциал электронов (*эв*).

Выражения (1) и (2) идентичны. Числитель показателя экспоненты в обоих выражениях представляет собой работу выхода $e\varphi = e\psi_0 - \mu$. Средний коэфф. прозрачности потенциального барьера $\overline{D}$ в ф-ле (2) связан с коэфф. отражения $\overline{R}$ в ф-ле (1) соотношением: $\overline{D} = 1 - \overline{R}$. Из опытов $\overline{R} = 0{,}05\text{—}0{,}15$. Для всех твердых тел обычно полагают $\overline{D} = 1$ или $\overline{R} = 0$, что практически не влияет на точность выражений (1) и (2). Кроме того, в термодинамике установлено, что термоэлектронная постоянная должна быть одинаковой для всех твердых (чистых) веществ, однако не найдено ее точное численное значение. В то же время по квантовомеханич. модели электронов для металла

$$A_0 = 4\pi mk^2e/h^3 = 120{,}4\ a\cdot см^{-2}\cdot град^{-2}$$

(при условии, что наивысшей заполненной энергетич. зоной электронов в металле является зона S, что справедливо практически для всех металлов, применяемых для изготовления термоэлектронных эмиттеров, где m — масса электрона, h — постоянная Планка).

При исследовании Т. э. твердых тел обычно используют эксперимент. диод с системой трех анодов, из к-рых два крайние являются охранными, а средний — рабочим анодом (рис. 1). Исследуемое на эмиссию вещество берется в виде проволоки или ленты, к-рая служит катодом ($К$) эксперимент. диода, либо наносится в виде тонкого слоя на ту же проволоку либо ленту, накаливаемую до рабочей темп-ры. Наличие металлич. подложки (керна) под слоем исследуемого вещества непосредственно не влияет на его термоэлектронные св-ва. Охранные аноды $ОА$, электрически соединенные между собой, перекрывают холодные концы катода, а рабочий анод $РА$ помещается над средним участком катода с однородной темп-рой. При измерении эмиссии на все три анода подается одинаковое напряжение, а прибор $Г$, измеряющий эмиссию, включается в цепь рабочего анода. На опыте измеряют анодный ток $I_а$ в области насыщения вольтамперной хар-ки диода при нек-рой темп-ре катода T° К. На вольтамперной хар-ке диода (рис. 2) можно указать три области с характерной для каждой из них зависимостью $I_а = f(U_а)$: $I_а = I_0 \exp[e(U_а + U_к)/kT]$ — для области начальных токов (область I); $I_а = C(U_а + \varphi_а)^{3/2}$ — для области ограничения тока пространственным зарядом (область II); $I = I_0 \exp[-e\sqrt{eE/kT}]$ — для области тока насыщения (область III); здесь $I_0 = A_0FT^2 \times \exp(-e\varphi_к/kT)$ — ток эмиссии катода, F — эмиттирующая поверхность катода, C — коэфф. проводимости диода, определяемый его геометрией, $U_к$ — контактная разность потенциалов, причем $U_к = \varphi_к - \varphi_а$, $\varphi_к$ — работа выхода катода, $\varphi_а$ — работа выхода анода, E — поле у поверхности катода. Обычно для определения тока эмиссии измеряют ряд значений $I_а$ при соответствующих значениях $U_а$ в области насыщения и затем экстраполируют хар-ку к $U_а = 0$. Полученное т. о. значение тока I_0 принимают за истинное значение тока эмиссии твердого тела при данной его темп-ре. Наклон прямой в области тока насыщения (прямая Шоттки) зависит лишь от темп-ры, а ее значение, определяемое как $T_ш = -\frac{e^{3/2}}{k}\frac{dV\overline{E}}{d\ln I_а}$, наз. темп-рой Шоттки.

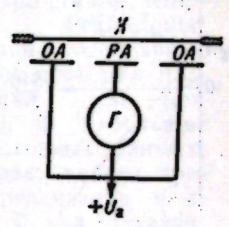


Рис. 1.

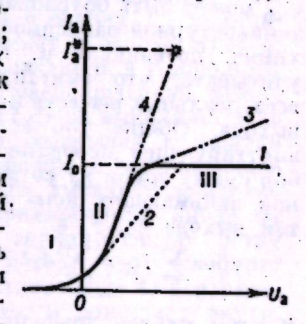


Рис. 2.

Практически измерение тока насыщения производится в диапазоне $U_а = 100\text{—}1000$ *в*, что соответствует полю $E = 10^3\text{—}10^4$ *в/см*. При значениях $E \geqslant 10^5\text{—}10^6$ *в/см* сказывается влияние электростатич. электронной эмиссии, для к-рой зависимость $I_а = f(U_а)$ для области насыщения отличается от указанной выше. Использование значений $j_0 = I_0/F$, определенных при разных темп-рах, для хар-ки термо-

электронных св-в различных материалов технически неудобно вследствие сильной зависимости $j_0(T)$. Для этой цели обычно пользуются значениями работы выхода. Наиболее распространенный метод определения этой величины: по I_0 и $T°$ К строится график в координатах $\ln(I_0/T^2)$ и $1/kT$ или $\lg(I_0/T^2)$ и $5040/T$ (рис. 3). Обычно это прямая линия, тангенс угла наклона к-рой определяет значение φ_0 и ордината пересечения с осью ординат — величину $\lg A$. Экспериментальные значения j_0 при данных T связаны с φ_0 и A ур-нием:

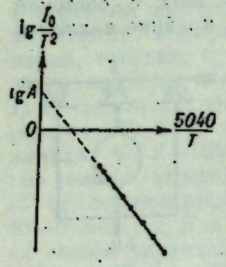


Рис. 3.

$$j_0 = AT^2 \exp(-e\varphi_0/kT),$$

где A — эксперимент. термоэлектронная постоянная, различная для разных веществ и отличная от A_0, а φ_0 — значение работы выхода, не отвечающее ее физ. смыслу. Более близка к истинной работе выхода и более удобна для определения величина эффективной работы выхода:

$$\varphi_{эф} = (kT/e)\ln(120T^2/j_0) = 1{,}98\cdot10^{-4}T\lg(2{,}08+2\lg T-\lg j_0),$$

соответствующая ур-нию эмиссии:

$$j_0 = 120T^2\exp(-e\varphi_{эф}/kT).$$

Значение $\varphi_{эф}$ однозначно характеризует эмиссионные св-ва тела при данной его темп-ре. Температурная зависимость работы выхода $\varphi_{эф}$ может быть обусловлена в первую очередь температурной зависимостью уровня электрохимич. потенциала μ. Кроме того, следует учитывать, что эмиттирующая поверхность всех реальных веществ неоднородна по работе выхода. Общий ток с такой неоднородной эмиттирующей поверхности представляет собой сумму токов j_{0i} со всех локальных участков, занимающих долю поверхности f_i с работой выхода φ_i, т. е.

$$j_0 = \sum_i j_{0i} = \sum_i A_0 f_i T^2 \exp(-e\varphi_i/kT).$$

В этом случае значение

$$\varphi_{эф} = -(kT/e)\ln\sum_i f_i \exp(-e\varphi_i/kT)$$

достаточно сложным образом связано с истинными значениями φ_i и f_i и их температурными зависимостями. Сравнительно простой ход вольтамперной хар-ки имеет место лишь для чистых металлов, характеризующихся нормальным эффектом Шоттки (кривая *1* на рис. 2). У пленочных катодов, на эмиттирующей поверхности к-рых имеются по меньшей мере два сорта пятен с $\varphi_{мин}$ и $\varphi_{макс}$, причем $\Delta\varphi = \varphi_{макс} - \varphi_{мин} \geqslant 1{-}2$ *эв*, занимающих сравнимые доли поверхности катода, хар-ка не сразу достигает насыщения, а определяется аномальным эффектом Шоттки (кривая *2* на рис. 2), когда величина внешнего поля еще недостаточна для компенсации поля пятен:

$$E_п = \Delta\varphi/d,$$

где d — линейный размер пятен. И лишь при $E \geqslant E_п$ хар-ка достигает насыщения. В ПП катодах эффект Шоттки более ярко выражен (кривая *3* на рис. 2) и темп-ра Шоттки значительно ниже истинного её значения. Отсутствие ярко выраженного участка насыщения, по-видимому, связано с проникновением поля внутрь ПП.

В случае весьма эффективного эмиттера — оксидного катода, анодный ток практически ограничивается не током насыщения, а током искрения I^*, возникновение к-рого приводит к разрушению слоя оксида и выходу прибора из строя. Вольтамперная хар-ка оксидного катода при рабочих темп-рах обычно является продолжением участка, ограниченного пространственным зарядом (кривая *4* на рис. 2), вследствие чрезвычайно большого запаса эмиссии, каким обладает оксидный катод. Для получения высоких значений эмиссионного тока следует использовать вещества с малой работой выхода, с сильно развитой эмиттирующей поверхностью, способные переносить без разрушения высокие рабочие темпры. Исследование Т. э. твердых тел обычно проводят в условиях высокого вакуума, к-рый необходим для избежания хим. реакций материала катода при нагревании, ведущих к разрушению катода, и прежде всего реакций с кислородом воздуха. Кроме того, высокий вакуум необходим для получения чистой поверхности катода, свободной от посторонних загрязнений, сильно влияющих на эмиссионные св-ва. Так, напр., присутствие следов кислорода на вольфраме снижает эмиссию последнего на 4, 5 и более порядков. Термоэлектронные св-ва ПП соединений (напр., окислов металлов) сильно зависят от их предварит. обработки, активирования и вакуумных условий в приборе. Высокий вакуум в приборе достигается путем откачки насосами, прогреванием стекла, обезгаживанием всех металлич. деталей внутри прибора и в дальнейшем сохраняется при помощи вводимого в прибор газопоглотителя.

Явление Т. э. используется в электронных приборах с накаленными катодами (термоэлектронные катоды), служащими источниками электронного потока (лампы с сетками, приборы СВЧ и т. д.), а также для непосредств. преобразования тепловой энергии в электрическую. Для этой цели наиболее полно исследованы поликристаллич. образцы чистых металлов, особенно тугоплавких, как, напр., вольфрам, тантал, рений, молибден, ниобий, к-рые допускают хорошее обезгаживание без заметного испарения или плавления. Проведен ряд исследований термоэлектронных свойств пленок различных веществ (бария, цезия, тория, кислорода и т. д.) на вольфраме, молибдене, платине и др. тугоплавких

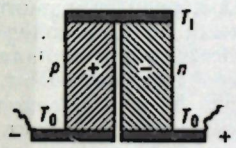
Вещество	Рабочая темп-ра (°К)	$\varphi_{эф}$ (*эв*)	Плотность тока эмиссии ($a\cdot см^{-2}$)
Вольфрам	2500	4,6	0,5
Тантал	2300	4,2	0,4
Рений	2500	5,1	0,05
Торированный вольфрам	2000	3,45	1,0
Окись тория	2000	3,2	4,0
Гексаборид лантана	1900	3,0	5,0
Смесь карбидов циркония и урана	2000	3,8	0,03
Оксид на никеле	1050	1,8	0,3

металлах, а также толстых слоев ПП веществ: окислов щелочноземельных и редкоземельных металлов, окислов металлов III и IV групп, окиси тория, солей щелочноземельных металлов, вольфраматов, алюминатов и т. д., тугоплавких соединений с металлич. проводимостью: карбидов, боридов, сульфидов и силицидов переходных металлов. В таблице приведены термоэлектронные св-ва нек-рых веществ.

Лит.: Рейман А. Л., Термоионная эмиссия, М.—Л., 1940; Герман Г., Вагенер С., Оксидный катод, пер. с нем., М.—Л., 1949; Херинг К., Николь с М., Термоэлектронная эмиссия, пер. с англ., М., 1950; Добрецов Л. Н., Электронная и ионная эмиссия, М.—Л., 1952. *Б. В. Бондаренко.*

ТЕРМОЭЛЕМЕНТ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ (semiconductor thermoelement; élément thermoélectrique semi-conducteur; Halbleiterthermoelement) — устройство, непосредственно преобразующее тепловую энергию в электрическую или осуществляющее охлаждение (нагревание). В первом случае разность темп-р, возникающая на спаях ветвей Т. п. при пропускании через него теплового потока, вызывает появление в цепи *термоэдс*, в результате чего на внешней нагрузке выделяется полезная электрич. мощность (см. *Термоэлектрический генератор*). Во втором случае электроны и дырки, движущиеся в ветвях Т. п. под действием приложенной пост. разности потенциалов, переносят теплоту с одного спая на другой, вызывая, соответственно, охлаждение одного и нагрев др. спая [см. *Термоэлектрическое охлаждение* (нагревание)].

Эффективность Т. п., работающих как в охлаждающем, так и в термогенераторном режимах, определяется величиной $z = \alpha^2\sigma\varkappa$, где α — коэфф. термоэдс, σ — электропроводность и $\varkappa$ — теплопроводность вещества Т. п.



Типичный Т. п. (рис., где T_0 и T_1 — темп-ры холодного и горячего спаев) состоит из p- и n-ПП стержней и металлич. пластин, подводящих напряжение (в режиме охлаждения) или отводящих электрич. мощность (в режиме термогенератора). Для увеличения полезной электрич. мощности (или холодопроизводительности) Т. п. обычно соединяются в *термобатареи*. Отдельный Т. п. представляет собой миниатюрный холодильник (или генератор электроэнергии) и может быть непосредственно использован для решения ряда задач (напр., охлаждения транзистора или фотосопротивления). Холодильные Т. п. (и термобатареи) могут работать либо в режиме макс. холодопроизводительности (осн. задача—охлаждение, количество потребляемой электроэнергии не играет роли) или макс. холодильного коэфф. (т. е. наивыгоднейшего для данной разности темп-р соотношения между холодопроизводительностью и потребляемой электрич. мощностью). Холодопроизводительность (при заданной разности темп-р) прямо пропорциональна потребляемой Т. п. электрич. мощности. Увеличивая оптим. ток Т. п. (напр., уменьшая его сопротивление), можно создать мощные Т. п. Однако значит. повышение мощности Т. п. ограничено вредным влиянием переходных сопротивлений (особенно при малых длинах Т. п.), а также резким возрастанием теплового напора на спаях Т. п. Поэтому важное значение в проблеме использования холодильных Т. п. имеют вопросы рассеивания выделяемого ими тепла, а в случае термогенераторных Т. п. — сбрасывания отработанного (прошедшего через Т. п.) тепла. *Е. К. Иорданишвили.*

ТЕСТЫ (tests; essais; Testprogramm, Kontrollaufgabe, Probeaufgabe, Prüfaufgabe, Prüfprogramm) — 1) Специально подобранные задачи, предназначенные для проверки правильности функционирования ЦВМ (см. *Испытательная программа*). 2) Небольшие подпрограммы и наборы исходных данных, служащие для проверки правильности программ, составленных для реализации к.-л. алгоритмов на ЦВМ. Такие Т. наз. отладочными. Так как программы первоначально содержат ошибки, поэтому проводится их автоматич. проверка на машине с помощью отладочных Т. Они контролируют работу всей программы или ее частей. Отладочные Т. вводятся в память совместно с контролируемой программой. В процессе выполнения Т. результаты работы проверяемых участков программы сравниваются с эталонными значениями (вводятся в память одновременно с Т.). Эталонные значения результатов определяются путем предварит. подсчета, выполняемого обычно на настольных счетных автоматах или вручную. *Г. А. Миронов.*

ТЕТРОД (tetrode; tétrode; Tetrode) — электронная лампа, имеющая катод, анод, управляющую и экранирующую сетки. Предназначен для усиления НЧ и ВЧ напряжений, широкополосного усиления, модуляции и генерирования колебаний большой мощности.

Конструктивно Т. выполнен в виде концентрически расположенных вокруг катода управляющей и экранирующей сеток и анода. Физ. процессы, положенные в основу Т., принципиально те же, что лежат в основе *триода*. Однако, в отличие от последнего, в Т. дополнит. экранирующая сетка, расположенная между анодом и управляющей сеткой, выполняет роль электростатич. экрана, уменьшая в десятки раз емкость между анодом и управляющей сеткой до значений в неск. тысячных долей *пф*.

Для улучшения экранирования анода от управляющей сетки экранирующую сетку делают достаточно густой, что ослабляет электростатич. воздействие анода на испускаемые катодом электроны и повышает внутр. сопротивление. Это уменьшает просачивание энергии ВЧ колебаний из анодной цепи в сеточную и обеспечивает устойчивое усиление на значительно более высоких частотах, чем в усилителе на триоде (рис. 1).

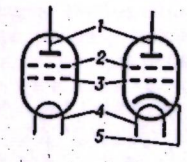


Рис. 1. Схема тетрода: *1* — анод; *2* — сетка экранирующая; *3* — сетка управляющая; *4* — катод прямого накала или подогреватель; *5* — подогревный катод.

В обычном режиме работы Т. управляющая сетка имеет небольшой (неск. *в*) отрицат. потенциал, экранирующая сетка — потенциал, равный анодному или меньше его (100—200 *в*). Для различных типов Т. крутизна хар-ки имеет значения от неск. единиц до десятков *ма/в*, внутр. сопротивление достигает 1—2 *Мом*, коэфф. усиления — неск. сотен. При заданном анодном напряжении анодно-сеточные хар-ки Т. располагаются левее, чем

у триода, и величина этого сдвига зависит от напряжения экранирующей сетки. Сочетание большого коэфф. усиления Т. и «левой» хар-ки (при невысоких анодных напряжениях) позволяет получать значительно бо́льшие усиления напряжения и мощности, чем при использовании триода. Осн. недостаток Т.— искажение анодных хар-к при малых анодных напряжениях (рис. 2). Если при работе Т. потенциал анода становится меньше потенциала экранирующей сетки, то происходит резкое увеличение тока экранирующей сетки за счет уменьшения тока анода. При этом вторичные электроны, выбитые с анода, переходят на экранирующую сетку, находящуюся в данный момент под более высоким полож. потенциалом (т. н. динатронный эффект). Это обстоятельство ограничивает применение Т., т. к.: а) вторичная эмиссия создает непостоянство во времени токов анода и экранирующей сетки, что приводит к усилению внутр. шумов и уменьшению чувствительности на ВЧ; б) «падающая» хар-ка анодного тока может стать причиной возбуждения собственных колебаний, а это вызывает шумы и прочие помехи в ВЧ усилителе; в) провал хар-ки анодного тока служит непосредств. причиной искажения формы кривой тока усиливаемого сигнала, т. к. возникающая эмиссия вторичных электронов с анода уменьшает анодный ток, изменяя его форму во времени.

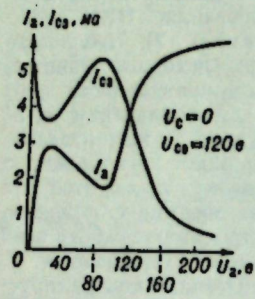


Рис. 2. Анодные хар-ки тетрода: I_a, U_a — ток и напряжение анода; I_{c3}, U_{c3} — ток и напряжение экранирующей сетки.

В тетродных конструкциях мощных генераторных ламп с принудит. водяным или возд. охлаждением анодов динатронный эффект подавляется полем электронного пространств. заряда между экранирующей сеткой и анодом. Полезная мощность этих ламп достигает 10 *квт* при анодном напряжении до 10 *кв* (крутизна хар-ки до 20 *ма/в*, проходная емкость — долей *пф*).

Основной недостаток Т., связанный с наличием динатронного эффекта, устранен в лампах более совершенной конструкции: *лучевых тетродах* (с помощью пространств. заряда), *пентодах* (с помощью третьей антидинатронной сетки) и *резнатронах* (с помощью спец. конструкции арматуры, в частности анода лампы).

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960; Гапонов В. И., Электроника, ч. 2, М., 1960; Бонч-Бруевич А. М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, 4 изд., М., 1956; Санин А. А., Электронные приборы ядерной физики, М., 1961.

И. Н. Посысаев.

ТЕТРОД ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ (semiconductor tetrode; tétrode semiconductrice; Halbleitertetrode) — *транзистор* с четырьмя выводами. Существуют различные типы Т. п.

1) Т. п. с двумя базовыми выводами — модификация транзистора, основа к-рого получена методом вытягивания из расплава ПП. Контакты создаются с двух противоположных сторон базовой области. При включении в схему, к выводам Т. п., помимо напряжений, прикладываемых к обычному транзистору, подводится дополнит. разность потенциалов между базовыми выводами. При этом в базовой области устанавливается распределение потенциала, обеспечивающее подачу на бо́льшую часть эмиттерного перехода обратного смещения. В этом случае весь эмиттерный ток идет через узкую, шириной в неск. *мк* полоску, примыкающую к находящемуся под соответствующим потенциалом базовому выводу. Т. о., перенос неосновных носителей заряда от эмиттера к коллектору происходит в части базовой области, находящейся на расстоянии единиц *мк* от базового вывода, что приводит к значит. уменьшению базового сопротивления $r'_б$. Поскольку геометрич. размеры инжектирующей части эмиттерного перехода малы, то сравнительно велика плотность тока; последнее обстоятельство приводит к падению НЧ коэфф. усиления по току.

Кремниевые Т. п. применяются в схемах АРУ и широкополосных усилителях. Однако широкого распространения Т. п. не получил, поскольку применение дополнит. базового вывода в тянутых транзисторах, хотя и улучшает их св-ва, но не обеспечивает создания приборов со св-ми, аналогичными св-вам диффуз. ВЧ транзисторов.

2) Т. п. с управлением поверхностным потенциалом — модификация *транзистора кремниевого* планарного с поверхностной пассивацией. 4-й электрод выполняется в виде металлизированной области на поверхности двуокиси кремния непосредственно над *электронно-дырочным переходом* эмиттер — база. Приложение потенциала к дополнит. электроду приводит к изменению коэфф. усиления по току вследствие изменения поверхностного потенциала области, расположенной под 4-м электродом. Отличит. особенность такого Т. п.— высокое значение входного сопротивления по пост. току (до 10^{15} *ом*), при входной емкости от единиц до сотен *пф*. Крутизна прибора, характеризующая его суммарное усиление, составляет неск. *ма/в*.

3) Т. п. униполярный — см. *Транзистор униполярный.*

А. С. Добкин.

ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА АВТОМАТИЗАЦИИ (automation equipment; moyens techniques d'automatisation; technische Automatisierungsmittel) — включают приборы и устройства, выполняющие ф-ции: а) получения контрольной информации об изменении параметров в технологич. процессе; б) передачи контрольной информации; в) преобразования и хранения контрольной информации, сравнения ее с программной информацией и формирования командной информации; г) передачи командной информации; д) использования командной информации для воздействия на технологич. процесс (путем изменения потоков энергии или материалов либо изменения хар-к рабочих машин).

Выполнение указанных ф-ций возможно, если информация будет условно, но вполне однозначно связана с какой-то физ. величиной (параметром) — *сигналом*. Для систем автоматич. управления в качестве сигнала, как правило, выбираются энергетич. параметры, т. к. они позволяют легко осуществлять передачу на расстояние, преобразование, сравнение и получение новых сигналов. Сигналы могут быть непрерывные и импульсные, длительность к-рых ограничена во времени. При использовании непрерывных сигналов параметры сигнала являются аналогом значений контролируемых параметров в данный момент времени.

При импульсных сигналах могут передаваться либо аналоговые изменения контролируемого параметра (импульсно-модулиров. сигналы), либо его дискретные по величине значения (релейные и кодовые сигналы). Виды энергии и параметры, используемые в качестве сигналов, приведены в табл. 1.

Табл. 1. Виды энергии и параметры, используемые в качестве сигналов

Вид энергии	Непрерывные сигналы	Импульсные сигналы
	Используемый параметр	Используемый параметр
Электрическая: на пост. токе	Напряжение, ток	Амплитуда напряжения или тока, длительность импульса или паузы, частота импульсов, число импульсов, сочетание импульсов с различными признаками (код)
на перем. токе	Напряжение, ток, частота, фаза	То же плюс частота и фаза перем. тока
Энергия сжатого газа или жидкости	Давление	Не используется
Механическая	Усилие (или момент), скорость (угловая скорость), линейное (угловое) перемещение	Не используется

В общем случае при импульсных сигналах можно в соответствии с информацией менять амплитуду, длительность импульса, длительность паузы между импульсами, частоту импульсов, число импульсов, сочетание импульсов с различными признаками (т. е. с различной амплитудой, длительностью, частотой переменного тока и т. п.).

В процессе получения, передачи, преобразования, сравнения и использования информации необходимо производить ряд операций с сигналами. Операции выполняются с помощью элементов автоматич. аппаратуры. Элемент — простейшая конструктивно целостная ячейка, выполняющая одну определ. операцию с сигналом:

1) преобразование контролируемой величины в сигнал (датчики, реле); 2) преобразование: а) сигнала одного рода энергии в сигнал другого рода энергии (преобразователи электропневматич., пневмоэлектрич. и т. п.), б) непрерывного сигнала в дискретный или обратно (преобразователи аналого-цифровые, цифро-аналоговые и т. п.), в) сигнала по величине энергии (усилители), г) по пределам изменения величины сигнала (компрессоры, экспандеры), д) по виду функциональной связи между входным и выходным сигналами (счетно-решающие элементы, функциональные элементы); 3) хранение сигналов (накопители, элементы памяти, регистры и т. п.); 4) создание программных сигналов (программные элементы, программные устройства); 5) сравнение контрольных и программных сигналов и формирование командного (управляющего) сигнала (нуль-элементы, нуль-органы, элементы сравнения); 6) выполнение логич. операций (логич. элементы); 7) распределение сигналов по различным направлениям — связям, соединениям, путям передачи (распределители, коммутаторы); 8) использование сигналов для воздействия на управляемый процесс (исполнит. элементы, сервомеханизмы, серводвигатели и т. п.). В ряде случаев строят комбинированные элементы, к-рые способны выполнять сразу несколько операций с сигналом.

Схемное или схемно-конструктивное соединение нескольких элементов [необходимое для выполнения одной из след. ф-ций: 1) получения информации, 2) передачи информации, 3) преобразования и обработки контрольной информации, сравнения ее с программой и формирования командной информации, 4) использования командной информации для воздействия на управляемый процесс] образует автоматическое устройство (или автоматич. прибор). Автоматич. устройства объединяют в систему автоматических устройств. Последняя служит для выполнения заданных операций по контролю, управлению или регулированию параметров технологич. процесса в соответствии с заданной программой или критериями процесса.

Осн. виды систем автоматич. устройств сведены в табл. 2: 1) системы автоматич. контроля, содержащие устройства для получения контрольной информации и устройства для ее обработки, индикации или хранения; 2) системы автоматич. (программного) управления, содержащие устройство для программирования и устройства для воздействия на технологич. процесс; 3) системы автоматич. регулирования, содержащие устройства для: получения контрольной информации, обработки контрольной информации и сравнения ее с программой и выработки командной информации для воздействия на технологический процесс; 4) системы телемеханического контроля, содержащие устройства для получения контрольной информации, для ее передачи и приема на расстоянии человеком; 5) система телемеханич. управления, содержащая устройства для выработки и передачи командной информации на расстояние, и устройства для использования командной информации для оказания воздействия на управляемый процесс; 6) и 7) системы телеавтоматич. контроля и управления, в к-рых вместо человека прием контрольной и выработку командной информаций выполняют автоматич. приборы или устройства; 8) системы телеавтоматич. регулирования, содержащие устройства для получения, передачи на расстояние, преобразования и сравнения контрольной информации с программой и формирования командной информации, устройства

для передачи командной информации на расстояние и для использования ее с целью оказания воздействия на управляемый процесс.

Табл. 2. Функциональная структура автоматических систем

Системы \ Средства (устройства, приборы)	Получение информации	Передача контрольной информации	Преобразование, обработка и сравнение контрольной информации и формирование командной информации	Передача командной информации	Использование командной информации
Автоматический контроль	◎→	- - - →	□→▷		
Автоматич. (программное) управление			□ - - - →	- - - →	⊠
Автоматич. регулирование	◎→	- - - →	□ - - - →	- - - →	⊠
Телемеханич. контроль	◎→	▮▮→	□→▷		
Телемеханич. управление			▷→□	▮▮→	⊠
Телеавтоматический контроль	◎→	▮▮→	□→▷		
Телеавтоматическое управление			□→	▮▮→	⊠
Телеавтоматическое регулирование	◎→	▮▮→	□→	▮▮→	⊠

◎ *Приборы для получения информации*

▮ *Приборы для передачи и приема информации по каналу связи*

□ *Приборы для преобразования и сравнения контрольной информации или выработки командной информации*

▲ *Программное устройство*

▷ *Прием или передача сигнала человеком*

⊠ *Исполнительное устройство*

В зависимости от рода энергии, идущей от вспомогат. источника для формирования сигнала, различают следующие ветви приборов и устройств: а) пневматическую, б) электрическую, в) гидравлическую. Кроме того, имеется ветвь приборов и устройств без источников вспомогат. энергии: энергия для образования сигнала отбирается от контролируемой среды (табл. 3).

В таблице для каждой ветви указаны в кружочках оси. параметры, используемые для непрерывных сигналов. Средства получения информации (приборы, устройства, датчики) содержат входные (чувствительные) органы, воспринимающие воздействие контролируемого параметра и вырабатывающие «внутренний» сигнал в виде изменения механич., тепловых, оптических, магнитных или электрич. параметров, к-рые в выходном (исполнительном) органе преобразуются в стандартный электрич., пневматич. или гидравлич. сигнал.

Средства передачи контрольной информации в простейшем случае представляют линию связи, по к-рой происходит передача сигналов от датчиков. В более сложных случаях, при необходимости передачи сигналов на большие расстояния, применяют спец. преобразователи сигналов от датчиков в форму, удобную для передачи по данному каналу связи (преобразователи-шифраторы, преобразователи-дешифраторы). Канал связи включает передатчик, линию связи и приемник. На приемном конце применяется другой преобразователь сигнала в форму, удобную для дальнейшего использования. При необходимости передавать контрольную информацию от многих параметров из одного или из разных пунктов средства передачи информации превращаются уже в более или менее сложные устройства телемеханизации.

Средства обработки информации и формирования (выработки) командных сигналов представляют наиболее сложную и разнообразную группу. В эту группу входят устройства для: индикации аналоговых или дискретных значений контролируемых параметров (индикаторы, цифровые индикаторы, сигнализаторы, 3—1); регистрации аналоговых или дискретных значений контролируемых параметров (регистраторы, цифровые регистраторы, печатающие устройства, 3—2); преобразования сигналов из одной формы в другую (устройства для преобразования сигналов, 3—8); выполнения математич. операций с сигналами (счетно-решающие, вычислит. устройства, 3—3); хранения информации (накопления контрольной информации, накопления и выдачи программной информации, 3—5); сравнения контрольной и программной информаций и формирования (выработки) командной информации (регуляторы, 3—4); формирования (выработки) командной информации в результате сравнения заданных и имеющихся логич. соотношений (устройства управления, 3—7); местного внешнего ввода программной информации (задатчики, устройства ввода, 3—6); сбора сигналов с нескольких каналов связи или распределения командных сигналов по неск. каналам связи (устройства распределения, устройства коммутации, 3—9). Средства передачи командной информации в основном аналогичны устройствам передачи контрольной информации.

Устройства, в к-рых информация используется для воздействия на управляемый процесс (исполнит. устройства), производят изменение потоков энергии или вещества, необходимых для осуществления управляемого процесса, или изменяют хар-ки рабочих машин и агрегатов, в к-рых протекает управляемый процесс. Эти устройства состоят из усилителей командных сигналов, исполнит. элементов (исполнит. механизмов) и регулирующих органов.

Гидравлич. ветвь применяется в основном в виде устройств, использующих командную информацию для воздействия на исполнит. устройства. Только в локальных системах автоматич. регулирования и управления (напр., гидравлич. и тепловые турбины, станки с гидроприводом) встречаются гидравлич. устройства для получения информации (датчики) и для сравнения ее с программой формирования командной информации (регуляторы).

Часто приходится создавать комбиниров. системы, использующие различные виды сигналов: напр., электрические — в устройствах для получения, передачи, обработки контрольной и формирование командной информации, и пневматические и гидравлические — в устройствах, использующих информацию для воздействия на процесс (исполнит. уст-

Табл. 3. СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ПОСТРОЕНИЯ ОБЩЕГОСУДАРСТВЕННОЙ СИСТЕМЫ ПРИБОРОВ И СРЕДСТВ АВТОМАТИЗАЦИИ

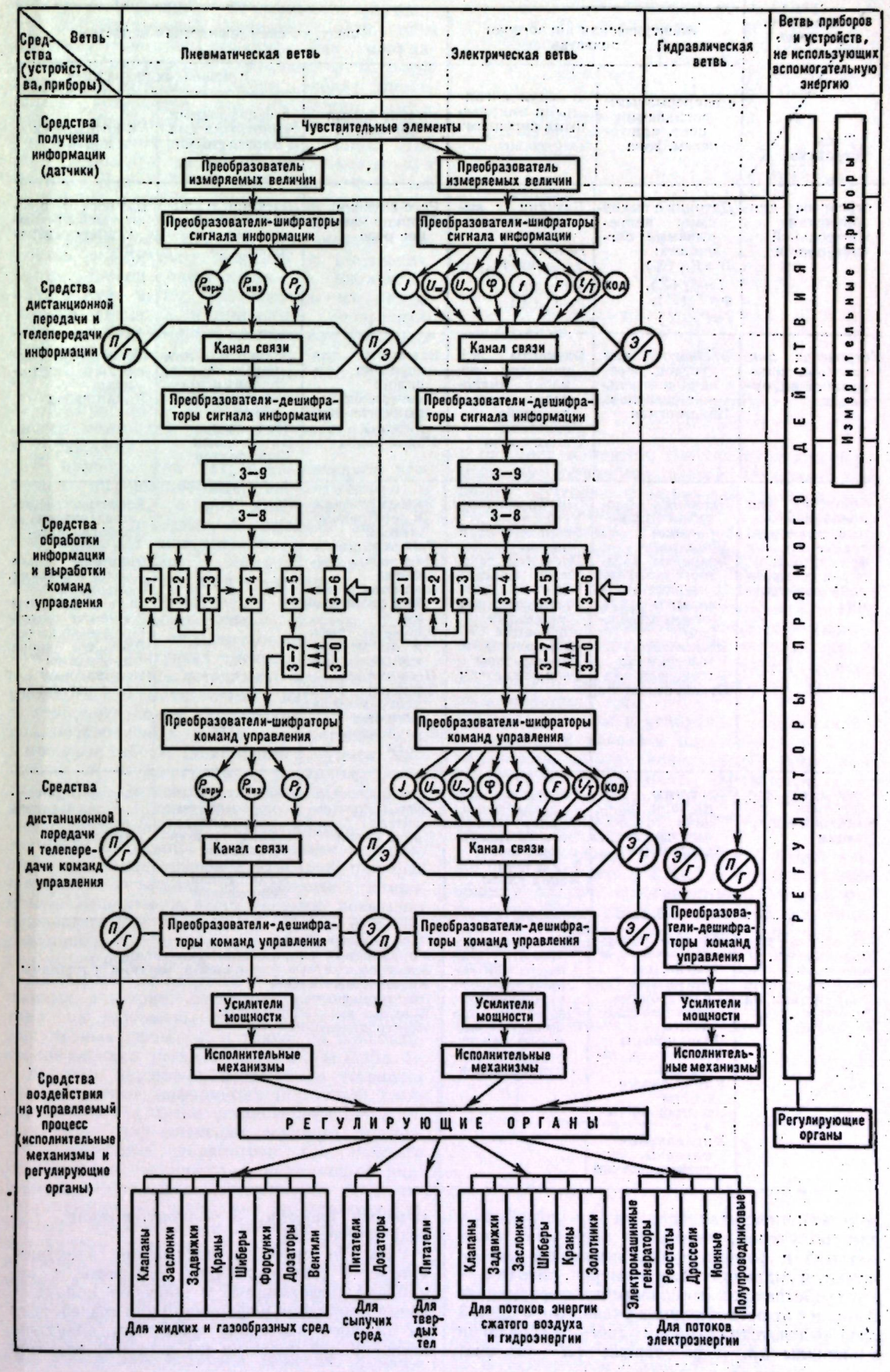


Таблица 4

Используемая электрич. ветвь / Типы устройств	Электрическая ветвь				
	Электрическая аналоговая подветвь		Электрическая дискретная подветвь		
				с кодовыми сигналами	
	с непрерывными сигналами пост. или перем. тока	с модулированными импульсными сигналами	с релейными сигналами	с нецифровыми частотными или импульсными кодами	с цифровыми кодами
Устройства для получения контрольной информации	Датчики с выходными непрерывными сигналами: $U=F_U(X)$, $I=F_I(X)$, $\varphi=F_\varphi(X)$, $f=F_f(X)$	Датчики с выходными сигналами: $I=F_1(X)$, $t_{и/т}$ или $t_{п/т}=F_2(X)$, $F=F_3(X)$	Реле-датчики Датчики+выходное реле	Датчики с выходными сигналами код$=F(X)$	Датчики с цифрокодовым выходным сигналом
Устройства для передачи контрольной информации	Элементы для дистанц. передачи контрольных сигналов: Канал связи	Элементы для передачи сигналов аналоговых телеизмерений: Усилители Канал связи	Элементы для передачи сигналов: Реле-транслято-ры (реле-усилители) Канал связи	Элементы для передачи сигналов дискретных телеизмерений: Шифратор Канал связи Дешифратор	Элементы для передачи сигналов: Канал связи
Устройства для преобразования, хранения, сравнения и формирования новой (командной) информации	Элементы сравнения (нуль-органы) Усилители Элементы задания программы (задатчики) Элементы для математич. операции Индикаторы Регистраторы Распределители Преобразователи	Преобразователи Усилители Элементы сравнения Элементы задания программы Элементы для математич. операций Индикаторы Регистраторы Распределители	Реле-усилители и реле-размножители Распределители Логические элементы Элементы памяти и блокировки Элементы счета и др. математич. операций Индикаторы Элементы ввода программиров. сигналов Преобразователи	—	Регистры (распределители) Преобразователи кода Элементы для математических операций Логич. элементы Элементы и устройства памяти Элементы ввода программы Индикаторы Регистраторы
Устройства для передачи командной информации	Элементы для дистанц. передачи командных сигналов: Канал связи	Элементы для передачи сигналов аналогового телеуправления Усилители Канал связи	Реле-трансляторы (реле-усилители) Канал связи	Элементы для передачи сигналов дискретного телеуправления: Шифратор Канал связи Дешифратор	Элементы для передачи сигналов: Канал связи
Устройства для использования командной информации для воздействия на процесс	Мощные усилители—электромагнитные, магнитные, электронные, полупроводниковые Позиционеры (следящие системы) Управляемые муфты Электродвигатели Управляемые клапаны, вентили, заслонки	Импульсные исполнит. элементы для управления электропроводом Частотные исполнит. элементы для управления электроприводом	Реле мощные, контакторы Управляемые выпрямители, тиратроны Электромагнитные управляемые вентили и клапаны Управляемые муфты Электромагниты Шаговые электродвигатели Электродвигатели		

ройства); пневматич. сигналы — в устройствах для получения, передачи, обработки контрольной и формирования командной информации, и гидравлич. или электрич. сигналы — в устройствах для использования информации. В связи с этим необходимы указанные в табл. 3 преобразователи сигналов одного рода энергии в сигналы др. рода энергии (*П* — пневматическая энергия, *Э* — электрическая, *Г* — гидравлическая).

Развитие способов построения электрич. устройств для различных операций с командной информацией и способов использования командной информации для воздействия на процесс заставило разделить электрич. ветвь на две подветви (табл. 4): а) электрическую аналоговую, в к-рую входят устройства и приборы для получения и передачи информации о непрерывных значениях контролируемой величины. При этом используются непрерывные или модулированные импульсные сигналы; и б) электрич. дискретную, в к-рую входят приборы и устройства для получения, передачи и обработки информации о дискретных значениях контролируемой величины. При этом используются релейные сигналы (при наличии 2 или 3 значений контролируемой величины), нецифровые коды (частотные или импульсные), цифровые коды (импульсные).

В результате создания пневматич. элементов дискретного действия и пневматич. ветвь должна разделиться на пневматич. аналоговую ветвь, работающую на непрерывных сигналах, и пневматич. дискретную ветвь, использующую релейные или цифровые кодовые сигналы.

В СССР создается общая гос. система Т. с. а., позволяющая совместно использовать любые приборы и устройства для построения систем автоматич. контроля, регулирования и управления.

У прибора или устройства следует различать информационные, энергетические и веществ. связи с др. приборами данной системы, с источниками питания энергией или вспомогат. материалами, с конструктивными крепежными и соединительными элементами и частями всей установки.

Полная согласованность отдельных приборов и устройств общей системы Т.с.а. достигается: 1) стандартностью параметров входных и выходных сигналов; 2) стандартностью параметров источников энергии (электрических, пневматических, гидравлических); 3) стандартизацией параметров для материалов, потребляемых приборами и устройствами в процессе работы (диаграммная бумага, магнитная лента, перфолента, различные реактивы и др. вспомогат. материалы); 4) стандартизацией присоединит. размеров для мест соединения приборов, присоединения к источникам снабжения необходимыми материалами; 5) стандартизацией размеров приборов с целью обеспечения их совместной компоновки. Выполнение этого условия позволяет объединять для совместной работы приборы различных принципов устройств и разных конструктивных форм.

На параметры входных и выходных непрерывных электрич. сигналов пост. и перем. тока, на параметры частотных и частотно-импульсных сигналов, а также на пневматические сигналы установлены ГОСТы (табл. 5).

Входные параметры приборов и устройств для получения информации (датчиков) стандартизируются путем установления нормальных рядов для значений верхнего предела контролируемых параметров для каждого из приборов, входящих в нормальный ряд. Нормальные ряды составляются по методу предпочтит. чисел, как это делается для измерит. приборов, т. к. целесообразно иметь одинаковые пределы и класс точности у приборов (устройств) для получения информации и у измерит. приборов — для одного и того же контролируемого параметра.

Выходные параметры и устройства стандартизируются путем установления нормальных рядов для значений механич. усилий и механич. моментов, требующихся для перемещения подвижных частей задвижек клапанов, вентилей и нормальных рядов коммутируемых мощностей пост. и перем. тока.

Табл. 5. Основные параметры сигналов

I. Электрические сигналы

А. Непрерывные сигналы

1. Сигналы пост. тока	$I=0-5$; $0-20$; $0-100$ *ма* $U=0-10$ *в* $I=(5-0-5)$; $(20-0-20)$; $(100-0-100)$ *ма* $U=10-0-10$ *в*
перем. тока	$U\neq1-0-1$ *в*; $0-2$ *в*
2. Импульсно-модулированные	$U=0{,}6$; 1,2; 4,8; 6; 12; 24; 48; 60; 120 (220) *в* $t=(1{,}2;\ 4;\ 6;\ 8)\ 10^n$ *сек*
3. Частотные	$f_n=300+1{,}13^{k(n-1)}$ при $n=1,\ 2,\ 3,\ \ldots$ $k\neq0{,}5;\ 1{,}0;\ 20$ $f_n=450+\Delta f\ (n-1)$ при $\Delta f=120$ и 180 *гц*
4. Фазовые	0°; 90°; 180°; 270° 0°; 60°; 120°; 180°; 240°; 300°

Б. Дискретные сигналы

1. Релейные	$U=6$; 12; 24; 48; 60; 120 (220) *в* $U_0=0{,}1\ U$
2. Импульсные	—

II. Пневматические сигналы

1. Давление	$p=0{,}2-1{,}0$ *кг/см²*

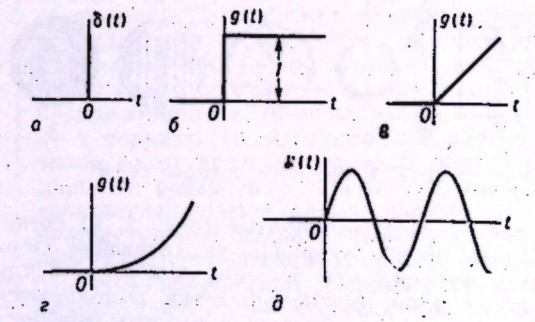
Общая система Т.с.а. допускает использование различных физ. принципов их устройства и различных конструкций. Это необходимо для того, чтобы дать возможность дальнейшего развития и применения новых, прогрессивных принципов устройств (напр., бесконтактных устройств, ПП, твердых схем и т. п.) и новых видов конструкций и этим непрерывно поддерживать высокий уровень совершенства Т.с.а.

Наряду с этим в условиях развития автоматизации и массовой потребности в Т.с.а. необходимо широко использовать такие конструктивные формы (напр., блочно-агрегатные и модульные конструкции), к-рые позволяют организовать массовое произ-во и снизить стоимость Т.с.а.

Осн. положения по созданию общей гос. системы приборов и Т.с.а. регламентируются общими технич. требованиями, в к-рых определены общая структура системы, унифицированные сигналы, допустимые пределы изменения внешних факторов, способы исполнения.

Б. С. Сотсков.

ТИПОВОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ [type input, type action; grandeur d'entrée-type; typische Wirkung (Einwirkung), typischer Einfluß]—



воздействие, реакция на к-рое достаточно полно характеризует динамич. св-ва системы. Т. в. выбирается близким к наиболее часто

встречающемуся либо к наиболее неблагоприятному из всего разнообразия возможных реальных воздействий конкретной системы. Наиболее часто выбираемое Т. в. (рис.): *а* — одиночный импульс (δ-ф-ция); *б* — единичный скачок; *в* — скачок скорости; *г* — скачок ускорения; *д* — гармонич. воздействие. В отд. случаях Т. в. могут иметь весьма сложную форму, определяемую непосредственно из эксперимента. Правильный выбор Т.в. играет существ. роль при анализе и синтезе САР.

Лит.: Честнат Г., Майер Р., Проектирование и расчет следящих систем и систем регулирования, пер. с англ., ч. 1—2, М.—Л., 1959.

Б. И. Андрейчиков.

ТИРАТРОН ДУГОВОГО РАЗРЯДА [arc discharge thyratron; thyratron à décharge par arc (à arc); Tyratron mit Bogenentladung] — *ионный прибор* с накаленным катодом, в к-ром, кроме анода и катода, имеется одна или неск. сеток. На рис. 1 дан разрез Т.д. р. Анод и катод у него по материалу и конструкции принципиально не отличаются от анода и катода *газотрона*. В зависимости от параметров и назначения сетки Т. д. р. выполняются в различных конструктивных вариантах (рис. 2). Однощелевые сетки (рис. 2, *а*), представляющие собой плоскую диафрагму с узкой щелью (либо щелью, образованной двумя скобами), применяются преимущественно в маломощных приборах. Однодырочные сетки (рис. 2, *б*), выполненные в виде полого цилиндра либо диска с круглым отверстием, имеют сравнительно небольшую приемную поверхность и малые сеточные токи, что обусловливает повыш. чувствительность управления тиратроном. В мощных высоковольтных Т.д.р. обычно применяются многодырчатые (рис. 2, *в*), многощелевые

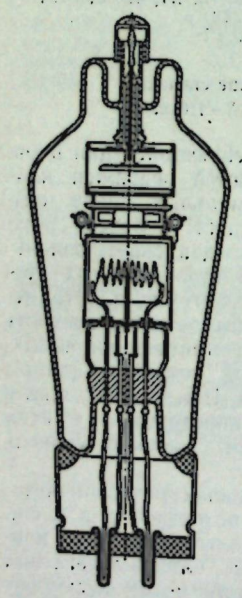


Рис. 1. Газонаполненный тиратрон типа ТГ1-2,5/4.

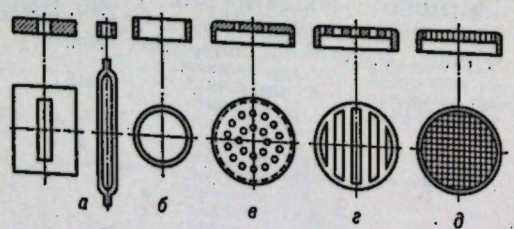


Рис. 2. Виды конструкции сеток.

(рис. 2, *г*) и решетчатые (рис. 2, *д*) сетки, к-рые могут сохранять управляющие св-ва при прохождении больших токов. У Т.д.р. малой и ср. мощностей сетки выполняются из никеля и молибдена, в мощных приборах сетки, как правило,— из графита или меди.

Т.д.р. наполняются ртутными парами, инертными газами (Xe, Kr, Ar, Ne, He) и водородом. Достоинства ртутных приборов — малое падение напряжения и большой срок службы, т. к. убыль атомов пара при жестчении непрерывно восполняется испарением ртутной капли. Недостаток ртутных приборов — большое время *деионизации* газа, узкий диапазон рабочих темп-р (от +10—15°С до +40—45°С), большое время разогрева прибора и необходимость периодич. прогрева катода при длит. хранении.

У Т.д.р. с наполнением инертными газами нет свойственных ртутным приборам недостатков, но долговечность их меньше, т. к. масса введенного в прибор газа непрерывно уменьшается в процессе поглощения его стенками баллона и электродами.

Осн. достоинство водородного Т.д.р.— хорошие частотные св-ва, обусловленные большой скоростью деионизации водорода. Время деионизации в приборах с водородным наполнением прибл. в 10 раз меньше, чем в приборах с ртутным, аргоновым или ксеноновым наполнением. Другое преимущество водородного наполнения — высокое значение катодного потенциала, к-рое может быть допущено без опасности разрушения оксидного катода. Критич. потенциал, т. е. напряжение, соответствующее скорости ионов, при к-рой они разрушают оксидное покрытие, для водорода составляет приблиз. 600 *в*, для ртути и инертных газов не превышает 30 *в*. Водород более интенсивно, чем инертные газы, поглощается продуктами распыления оксидного катода и электродами, легко вступает в хим. соединение с кремнием, углеродом и свободным барием. Поэтому в качестве электродов водородных приборов используется высококачественный электролитич. никель, свободный от восстанавливаемых и вредных примесей. Для компенсации убыли водорода в Т.д.р. ср. и большой мощности применяются генераторы (накопители) водорода (рис. 3). В цилиндрич. никелевом корпусе *1* имеется щель *2* для выхода водорода. С торцов цилиндр закрыт вакуумным цементом *3*. Внутри цилиндра помещается порошок гидрида титана *4*, к-рый от подогревателя *5* нагревается до 350—450°С. Для уменьшения зависимости давления газа от окружающей темп-ры последовательно с подогревателем генератора водорода включается компенсатор — проволочное сопротивление с высоким температурным коэфф. (никель), помещаемое в цоколе прибора. Генератор водорода с компенсирующим сопротивлением подключается параллельно накальной цепи катода или питается от отд. источника стабилизиров. напряжения (мощные приборы). Принцип работы генератора водорода основан на св-ве гидрида титана при нагревании выделять водород, давление к-рого, благодаря наступающему термодинамич. равновесию в замкнутом сосуде, остается постоянным и определяется темп-рой гидрида титана и концентрацией водорода в нем. Вследствие сильной зависимости давления водорода от темп-ры гидрида титана при эксплуатации Т.д.р. не допускаются большие колебания напряжения накала (более 5—7%).

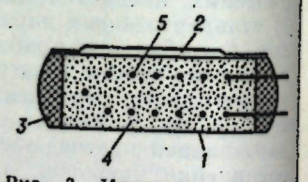


Рис. 3. Конструкция генератора водорода.

Физ. процессы в Т.д.р. с накаленным катодом основаны на несамостоятельном дуговом разряде. На рис. 4 приведены анодно-сеточные хар-ки электронного триода и Т. д. р., показывающие зависимость тока анода I_a от напряжения на сетке U_c (стрелками показан ход изменения I_a при увеличении и уменьшении потенциала сетки). I_a плавно изменяется только в начале хар-ки, т. е. пока количество электронов, проходящих через сетку к аноду, мало и скорости их недостаточны для зажигания дугового разряда (рис. 5, *а*). При $U_c = U_з$ происходит образование дуги и скачкообразное возрастание

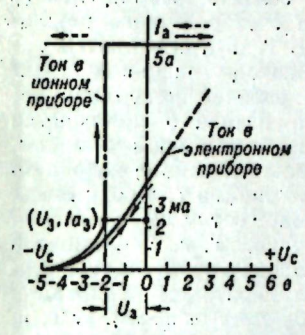


Рис. 4. Анодно-сеточные хар-ки тиратрона и электронного прибора.

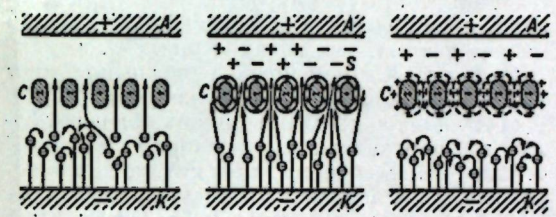


Рис. 5. Физич. процессы у сетки тиратрона.

тока анода, величина к-рого ограничивается сопротивлением внешней цепи. При горении дуги вокруг сетки образуется динамич. ионная оболочка, экранирующая электрич. поле отрицательно заряженной сетки, благодаря чему все электроны с катода проходят к аноду (рис. 5, *б*). С момента образования ионных оболочек сетка теряет свое управляющее действие и ее потенциал практически не влияет на ток анода. Т. о., при помощи сетки можно управлять только моментом зажигания Т.д.р., но не величиной I_a, что характерно для управляемых вентилей. После гашения дуги по мере деионизации плазмы концентрация зарядов в оболочке ослабляется и увеличиваются ее размеры. Момент смыкания ионных оболочек примерно соответствует началу восстановления управляющего действия (запиранию) сетки (рис. 5, *в*).

Осн. хар-ка, выражающая управляющее св-во сетки,— пусковая хар-ка (хар-ка зажигания) — показывает зависимость сеточного напряжения зажигания $U_{c_з}$ от напряжения анода U_a (рис. 6). Кривая *1*, расположенная в области отрицат. значений $U_{c_з}$, наз. отрицат. хар-кой и относится к Т.д.р. с сеткой большой проницаемости, а кривая *2*, лежащая в области положит. значений $U_{c_з}$, наз. положит. хар-кой и относится к Т.д.р. с сеткой малой проницаемости. Т.д.р. неимпульсные в большинстве обладают отрицат. пусковой хар-кой, а *тиратроны импульсные* имеют положит. пусковую хар-ку. При переходе к установившемуся режиму работы Т.д.р. пусковая хар-ка смещается, образуя пусковую область (рис. 6, *б*). Осн. причина смещения хар-ки нач. зажигания (рис. 6, *а*) — падение напряжения на сеточном сопротивлении из-за наличия ионной и термоэлектронной составляющих тока сетки в непроводящую

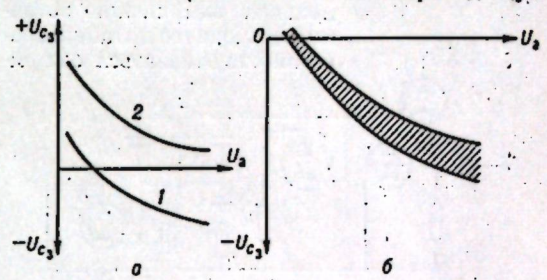


Рис. 6. Пусковые хар-ки (*а*) и пусковая область (*б*).

часть периода, величина к-рых зависит от ряда факторов: темп-ры сетки, состояния ее поверхности, давления газа, режима работы Т.д.р. (I_a, U_a, частоты питающей сети, U_c, R_c). Под шириной пусковой области понимаются пределы потенциалов сетки, в к-рые укладываются все пусковые хар-ки данного типа Т.д.р. при допустимых изменениях темп-ры окружающей среды и режимов работы прибора. Важным эксплуатац. параметром Т.д.р. (особенно релейных) является разбежка — разность между напряжением отпирания и запирания сетки, измеренным до и после нагрузки прибора номин. анодным током.

Отечеств. ртутные Т.д.р. изготовляются на ср. токи до 85 *а* и напряжение анода до 20 *кв*. Они применяются преимущественно в НЧ мощных высоковольтных выпрямителях и инверторах. Т.д.р. с инертным наполнением подразделяются на две большие группы: маломощные релейные на ср. токи до 100 *ма* и напряжение анода до 1300 *в* и мощные высоковольтные на ср. токи от 0,5 до 5 *а* и напряжение анода до 12 *кв*. Релейные Т.д.р. применяются в схемах автоматич. управления и регулирования, а мощные Т.д.р.— преимущественно в неуправляемых выпрямителях с частотой питающей сети 50 *гц*. Неимпульсные водородные Т.д.р. перспективны для использования в качестве вентилей в управляемых выпрямителях и в схемах инверторов, работающих на повыш. частотах.

Лит.: Каганов И. Л., Электронные и ионные преобразователи, ч. 2, М —Л., 1955.

В. Л. Кузьмин.

ТИРАТРОН ИМПУЛЬСНЫЙ (impulse thyratron; thyratron impulsionnel; Impulsthyratron) — управляемый *ионный прибор* дугового разряда с положит. пусковой хар-кой, предназначенный для работы в импульсных режимах. Особенность Т. и.— способность пропускать (коммутировать) ток в импульсе, превышающий ср. значение анодного тока на 2—4 порядка. Используется гл. обр. в качестве коммутирующего элемента модуляторов (рис. 1) радиолокац. станций и линейных ускорителей элементарных частиц. Применяется также в схемах инверторов УЗ диапазона частот, в качестве клиппера для снятия обратных напряжений (отрицат. зарядов) с формирующей линии, в схемах электросварки, ионных реле, генераторов импульсов и др. Т. и. выпускаются на импульсную мощность от единиц *квт* до десятков *Мвт*, анодный ток в импульсе — от единиц до неск. тыс. *а*

и диапазон анодного напряжения — от единиц до десятков *кв*.

Достоинства модуляторов на Т. и. по сравнению с ламповыми: более высокий кпд, меньшее напряжение источников анодного питания, возможность отказаться от применения отдельного источника отрицат. смещения в цепи сетки, возможность запускать Т. и. от несложного и маломощного подмодулятора. Т. и. имеет меньшие, чем модуляторные лампы, вес и габариты. Применение Т. и. в ряде случаев ограничивается нестабильностью запаздывания зажигания и скорости деионизации, от к-рой зависит макс. частота следования импульсов.

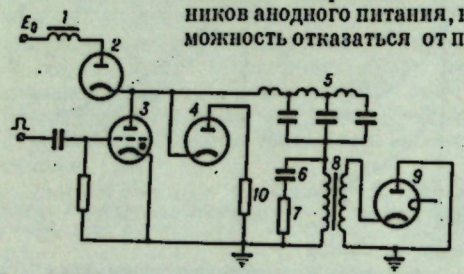


Рис. 1. Упрощенная схема импульсного модулятора с тиратроном: *1* — зарядный дроссель; *2* — зарядный диод; *3* — импульсный тиратрон; *4* — импульсный (клипперный) диод; *5* — формирующая линия; *6* — емкость и *7* — сопротивление согласующей цепочки; *8* — импульсный тр-р; *9* — магнетрон; *10* — ограничит. сопротивление.

Т. и. оформляются в трех конструктивных вариантах — стеклянном, металло-стеклянном и металло-керамическом. Т. и. в стеклянном оформлении (рис. 2) имеет анод *2* с плоской рабочей поверхностью, к-рый помещается внутри сетки, состоящей из управляющего элемента *3*, верхнего, нижнего и бокового сеточных экранов. Управляющий элемент сетки представляет собой один или несколько дисков с большим числом отверстий. Боковой сеточный экран часто изготовляется из густого сеточного полотна, через к-рое проходит значит. часть теплового излучения анода, но не проникает разряд от катода к аноду. Под управляющим элементом помещается нижний экран *4*, находящийся под потенциалом сетки. Он защищает промежуток между сеткой и катодом от прямого проникновения поля анода. В связи с этим для зажигания разряда между анодом и катодом необходимо сначала создать разряд между сеткой и катодом (за счет сеточного поджигающего импульса). В Т. и. применяются оксидные подогревные катоды чаще с внутренней активированной рабочей поверхностью. На внешней стороне катода *6* помещается подогреватель в виде бифилярной спирали. Для уменьшения мощности накала катода он окружен тепловыми экранами *7*. Верхний катодный экран *5* защищает сетку от напыления бария, идущего с катода. Т. и. наполняется водородом. Убыль водорода в процессе эксплуатации восполняется генератором водорода *1* (см. [1] и *Тиратрон дугового разряда*). В Т. и. стеклянного оформления применяется естеств. воздушное охлаждение и лишь в отдельных типах мощных приборов — принудит. воздушное охлаждение радиатора анода.

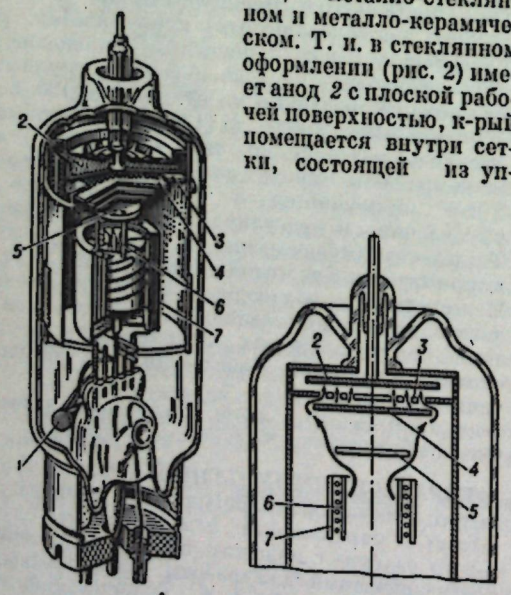


Рис. 2. Импульсный тиратрон в стеклянном оформлении: *а* — общий вид; *б* — схематич. чертеж.

В приборах металло-стеклянного оформления отдельные электроды (чаще анод или сетка) являются составной частью оболочки. В такой конструкции удобно принудит. воздушное или водяное охлаждение и она применяется в нек-рых типах мощных Т. и.

Наибольшее применение в последние годы нашли металло-керамич. тиратроны (МКТ). В сравнении со стеклянными они обладают более высокой механич. прочностью и теплостойкостью, меньшими габаритами, повышенной электрич. прочностью, возможностью снижения темп-ры электродов посредством более эффективного естеств. отвода тепла и применением воздушного принудит. охлаждения.

Как видно из рис. 3, МКТ имеют штабельную конструкцию. Анод *1* и сетка *2* выполнены в виде чаш, обращенных друг к другу дном. Материалом для них служит медь, благодаря высокой теплопроводности к-рой создаются хорошие условия для охлаждения. Катод *7* оксидный.

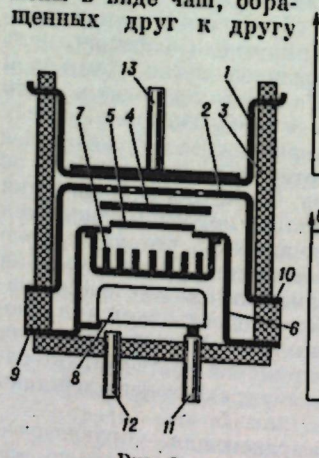


Рис. 3.

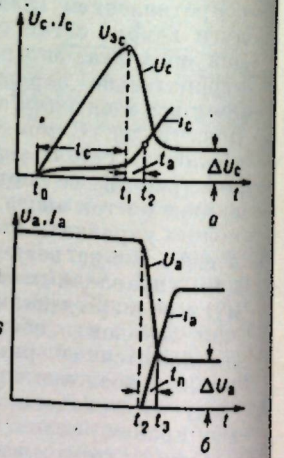


Рис. 4.

Рис. 3. Импульсный тиратрон в металло-керамич. оформлении: *1* — анод; *2* — сетка; *3* — керамич. стакан; *4* — сеточный экран; *5* — верхний экран катода; *6* — тепловой экран катода; *7* — катод; *8* — генератор водорода; *9* — вывод катода; *10* — вывод сетки; *11* — вывод подогревателя генератора водорода; *12* — вывод подогревателя катода; *13* — вывод анода.

Рис. 4. Осциллограмма токов и напряжений в сеточной (*а*) и анодной (*б*) цепях в импульсных тиратронах.

Процесс развития разряда в Т. и. (рис. 4) включает в себя три фазы: фазу зажигания

разряда на сетку, фазу переброса разряда с сетки на анод и фазу пробоя (коммутации). Начиная с t_0, вместе с ростом сеточного напряжения увеличивается и сеточный ток. При достижении напряжением на сетке значения, соответствующего потенциалу зажигания $U_{зс}$, возникает разряд между сеткой и катодом, сеточный ток быстро возрастает, а напряжение уменьшается до величины падения напряжения ΔU_c (на рис. 4, *а* для наглядности показана осциллограмма сеточного напряжения для случая, когда напряжение на анод не подано). Отрезок $t_1-t_0=t_c$ наз. временем зажигания разряда на сетку. В течение первой фазы напряжение на аноде остается неизменным, а процессы, протекающие между сеткой и катодом, не оказывают влияния на анодную цепь.

В нек-рый момент t_2 заканчивается подготовит. этап развития разряда. Время $t_2-t_1=t_a$ определяет длительность 2-й фазы разряда и наз. временем переброса разряда с сетки на анод. Отрезок времени, равный сумме t_c и t_a, наз. временем запаздывания зажигания, или временем запаздывания тока анода, по отношению к сеточному напряжению. Его величина обычно не превышает 0,4—0,6 *мксек*.

После переброса разряда на анод начинается формирование дугового разряда между анодом и катодом. Этот процесс характеризуется резким спадом напряжения анода до значения, равного падению напряжения ΔU_a, и ростом тока анода. Ток через прибор обычно возрастает медленнее, чем падает напряжение, из-за наличия в анодной цепи индуктивностей (паразитные индуктивности). Продолжительность третьей фазы (рис. 4, *б*) $t_3-t_2=t_п$ наз. временем пробоя, или временем коммутации. Оно лежит в пределах 0,01—0,1 *мксек*.

Нестабильность зажигания Т. и. во времени характеризуется тремя параметрами: изменением запаздывания зажигания разряда $Q_{зап}$, разбросом фронта импульса тока анода от импульса к импульсу $\Delta Q_{зап}$ (периодич. нестабильность) и длительностью установления пост. значения $Q_{зап}$ после включения анодного напряжения. Величины $Q_{зап}$ и $\Delta Q_{зап}$ зависят от темп-ры окружающей среды, электрич. режима и изменяются в течение срока службы. В наибольшей степени $Q_{зап}$ и $\Delta Q_{зап}$ зависят от крутизны фронта импульса сеточного напряжения $\frac{dU_c}{dt}$ (рис. 5). Величина периодич. нестабильности обычно не превышает 5 *псек*.

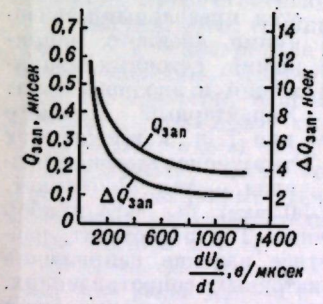


Рис. 5. Зависимость запаздывания анодного тока относительно сеточного напряжения и периодич. нестабильности тиратрона ТГИ1-50/5 от крутизны импульса сеточного напряжения.

Электрическая прочность Т. и. в прямом направлении характеризуется наибольшим положительным анодным напряжением. Макс. значение $U_{а_{пр}}$ и амплитуда импульса тока анода $I_{а_i}$ определяют импульсную мощность в нагрузке, к-рая равна приблизительно половине произведения $U_{а_{пр}} I_{а_i}$. Ср. мощность в нагрузке численно равна половине произведения $U_{а_{пр}} I_{а_{ср}}$. Наибольшее отрицат. напряжение анода относительно катода $U_{а_{обр}}$ характеризует электрич. прочность Т. и. в обратном направлении. В случае, если оно возникает не сразу после прохождения импульса тока, величина $U'_{а_{обр}}$ может быть равной или несколько меньшей $U_{а_{пр}}$. В модуляторных схемах за счет рассогласования сопротивления нагрузки $R_н$ с волновым сопротивлением формирующей линии ϱ_0 к аноду Т. и. сразу же после прохождения импульса тока через нуль прикладывается отрицат. напряжение $U'_{а_{обр}}$, величина к-рого определяется выражением:

$$U'_{а_{обр}} = U_{а_{пр}} \frac{\varrho_0 - R_н}{\varrho_0 + R_н}.$$

Необходимое условие эксплуатации Т. и., обеспечивающее устойчивость его работы в модуляторных схемах,— не менее чем 5%-ное рассогласование, т. е. соблюдение соотношения $U'_{а_{обр}} \geqslant 0{,}05 U_{а_{пр}}$. Макс. величина $U'_{а_{обр}}$ обычно составляет 15—30% от $U_{а_{пр}}$. При более высоких значениях $U'_{а_{обр}}$ происходит пробой в Т. и., т. к. после прохождения импульса тока в разрядном промежутке еще достаточно высока концентрация остаточных ионов.

Частота следования импульсов ограничивается скоростью деионизации, от к-рой зависит время восстановления электрич. прочности, и потерями энергии в Т. и. (тепловые потери). Макс. частота, обусловленная скоростью деионизации, в случае линейного заряда формирующей линии

$$F_{макс} = \frac{1}{t_в + \frac{U_{а_{пр}}}{S}},$$

где $t_в$ — время восстановления электрич. прочности (анодного запирания) и S — скорость нарастания прямого анодного напряжения. Рабочая частота обычно не превышает 30—50 тыс. *имп/сек*.

Лит.: 1) Воронцев Т. А., Импульсные тиратроны, М., 1958; 2) Детали и элементы радиолокационных станций, пер. с англ., ч. 1, М., 1952; 3) Charles D., Warnecke R. J., Le thyratron à hydrogène, «Ann. radioélectr.», 1955, t. 10, № 41, p. 256—302.

В. Л. Кузьмин.

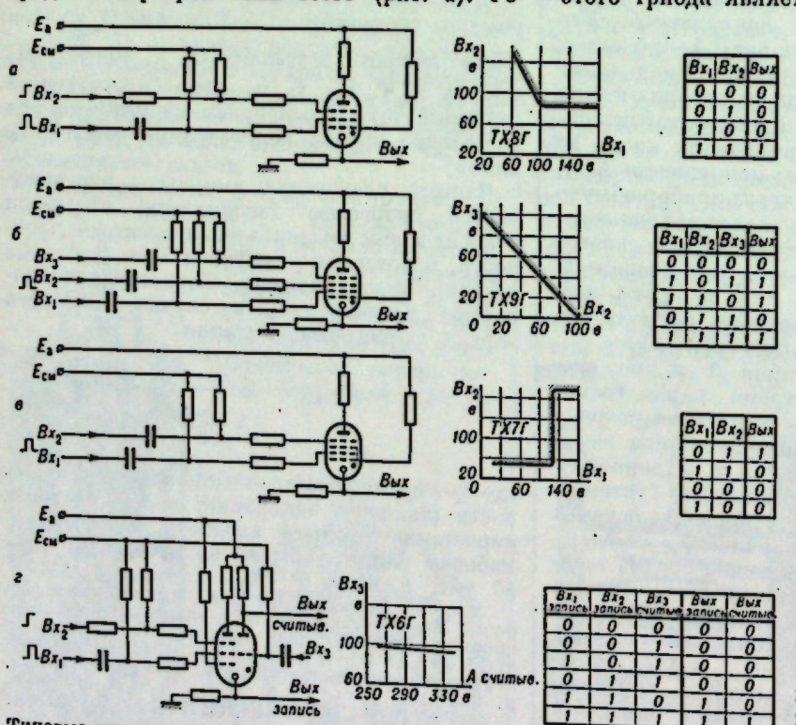
ТИРАТРОН ЛОГИЧЕСКИЙ (logic thyratron; thyratron logique; logisches Thyratron) — многоэлектродный *ионный прибор* тлеющего разряда, предназначенный для использования в системах дискретного действия. На Т. л. могут выполняться простейшие логич. операции «и» или «нет». При соединении различными способами приборов в схемах можно получить функцион. узлы, выполняющие более сложные операции («отрицание равнозначности», операции Шеффера и т. д.).

Особенность Т. л.— сочетание логич. ф-ций с общими св-вами тиратронов тлеющего разряда (отсутствие накала, усиление по току и напряжению, световая индикация со стороны купола баллона, большая долговечность — более 5000 час. — и высокая надежность). Это позволяет использовать их в схемах триггеров, в регистрах, в кольцевых схемах, в матричных дешифраторах, световых

табло, как элементы памяти, в системах управления и др. Применение Т. л. позволяет создавать элементарные схемы дискретного действия на одном приборе, т. к. взаимодействие входных импульсов осуществляется не схемным способом, а с помощью рабочего процесса, происходящего в самом приборе.

Выполнение логич. операций Т. л. возможно благодаря наличию спец. хар-к зажигания. Для получения хар-к нужной формы используется электростатич. (потенциальное) управление зажиганием с помощью управляющих электродов, создающих тормозящие поля (см. *Тиратрон тлеющего разряда*).

Примером Т. л. могут служить выпускаемые отечеств. пром-стью приборы типа ТХ7Г, ТХ8Г, ТХ9Г и ТХ6Г, выполняющие ф-ции определ. элемента дискретной техники. На рис. приведены схемы включения Т. л., их статич. сеточные хар-ки зажигания и таблицы соотношений состояния входа и выхода приборов. Ф-цию одного элемента «и» на два входа выполняет наиболее простой пятиэлектродный тиратрон типа ТХ8Г (рис. *а*). Горизонт. ветвь хар-ки зажигания параллельна оси абсцисс, а вертикальная — несколько наклонена к оси ординат. Зажигание происходит только в том случае, если на оба управляющих электрода поданы сигналы, амплитуды к-рых превышают порог зажигания прибора.



Типовые схемы включения логич. тиратронов, их статич. сеточные хар-ки зажигания и табл. соотношений состояния входа и выхода приборов.

Ф-цию двух элементов «и» с одним общим входом осуществляет Т. л. типа ТХ9Г, отличающийся от предыдущего прибора тем, что в него введен дополнит. управляющий электрод. На рис. *б* приведена статич. хар-ка зажигания для одной пары электродов при неизменном напряжении на третьем электроде. Т. л. зажигается при одноврем. подаче положит. сигналов на Bx_1 и Bx_2 или Bx_1 и Bx_3, а также на все три управляющих электрода. На этом Т. л. может выполняться логич. операция «или».

Операцию «нет» выполняет Т. л. типа ТХ7Г. В нем между управляющими электродами помещена сетка особой конфигурации, имеющая потенциал электрода подготовит. разряда (рис. *в*). Благодаря этой сетке при наличии сигнала на первом управляющем электроде возникает поле, оказывающее запрещающее действие на развитие разряда. Разряд возникает только тогда, когда на первом электроде имеется сигнал низкого уровня, а на втором — высокого.

Т. л. типа ТХ6Г (рис. *г*) является элементом памяти с тремя входами и двумя выходами. Этот прибор совмещает в себе функцион. элемент «и», служащий для записи и хранения информации (статич. хар-ка зажигания аналогична хар-ке, приведенной на рис. *а*), и обычный триод (тиратрон тлеющего разряда) с электростатич. управлением, предназначенный для считывания сигнала (без нарушения записанной информации). Катодом этого триода является плазма анодного разряда части прибора, выполняющей операцию «и».

Кроме потенц. управления зажиганием, в Т. л. может быть использовано смешанное управление: импульсно - потенциальное, когда на один из электродов подаются короткие импульсы, а на другой — пек-рые уровни напряжения. Применение чисто импульсного управления затруднительно из-за сложности в синхронизации входных сигналов, необходимость к-рой вызывается запаздыванием зажигания, зависящим от режима работы Т. л. и параметров схемы.

Возможность использования Т. л. в тех или иных режимах определяется предельными значениями анодного напряжения, сеточных напряжений и анодного тока. Характерный параметр для Т. л., как и для всех тиратронов тлеющего разряда, — ток подготовит. разряда (не менее 50 *мка*), без чего прибор не работает устойчиво. Ток подготовит. разряда создает заметное падение напряжения на высокоомных катодных сопротивлениях. В результате этого хар-ка зажигания будет сдвигаться, если отсчет амплитуды управляющего сигнала вести от уровня земли. Время запаздывания зажигания подготовит. разряда не превышает одной сек. Другими электрич. параметрами, к-рые определяют возможность выполнения требуемых операций, являются: время восстановления управляющего действия электродов (до 200 *мксек*) и величина отпирающего напряжения электродов.

Т. л. имеют единую типовую конструкцию и различаются в основном лишь конфигурацией сеток, их числом и межэлектродными расстояниями. Т. л. выпускаются в миниатюрном стеклянном оформлении с гибкими выводами, позволяющими их впаивать в схему. Катод, изготовляемый из молибденовой пластины или проволоки, отличается весьма высокой стабильностью катодного падения. Электроды представляют собой диафрагмы с отверстиями различных конфигураций, анод выполняется в виде траверзы. Все электроды, кроме катода, изготовляются из никеля или нержавеющей стали и крепятся обычно с помощью слюдяных держателей. Наполнение Т. л.— инертные газы и их смеси при давлении в неск. десятков *мм рт.ст.*

Конструирование др. видов Т. л. может идти по пути создания приборов для реализации осн. операций на большее число входов, повышения быстродействия Т. л., а также по пути создания более сложных приборов, напр. суммирующих цифровых элементов или комбиниров. ламп, выполняющих ф-ции пересчетных схем.

Лит.: Макар-Лиманов Г. Е., Метлицкий Ю. Я., Электростатическое управление зажиганием лампы тлеющего разряда, «РиЭ», 1959, т. 4, вып. 8; Макар-Лиманов Г. Е., Воронцева В. Р., Смелянский И. М., Новые типы ламп тлеющего разряда для выполнения логических операций «и» и «запрет», «Электровакуумная техника», 1962, вып. 30; Черевычник Ю. К., Приборы тлеющего разряда в вычислительной технике, М.—Л., 1964. См. также лит. при ст. *Тиратрон тлеющего разряда*. *Б. А. Бураков.*

ТИРАТРОН ТЛЕЮЩЕГО РАЗРЯДА, тиратрон с холодным катодом [glow-discharge thyratron; thyratron à décharge lente (à lueurs); Thyratron mit Glimmentladung], — *ионный прибор*, содержащий холодный катод, анод и один или неск. электродов (сеток), управляющих возникновением анодного тока (но не его величиной). Эмиссия электронов из катода в Т. т. р. происходит под действием бомбардировки положит. ионами, образующимися в *тлеющем разряде*. Обладая двумя устойчивыми состояниями: непроводящим и (после зажигания) проводящим, Т. т. р. отвечают принципам действия дискретных схем, что предопределяет их применение в вычислит. и измерит. технике, автоматике, телемеханике, системах связи и сигнализации.

Различают след. группы элементарных схем на Т. т. р.: дискретные усилители по току и напряжению, генераторы, запоминающие ячейки, триггеры, одновибраторы, мультивибраторы, кольцевые схемы, логич. схемы («и», «или», «нет») и др., на основе к-рых проектируются более сложные функцион. узлы: управляемые генераторы, регистры, счетчики, распределители, сумматоры, делители частоты и т. д.

Достоинства Т. т. р.— экономичность (отсутствие цепей накала и малая потребляемая мощность — неск. *мвт*); возможность визуального наблюдения состояния прибора и считывания результатов счета, что существенно облегчает наладку и обслуживание аппаратуры; высокая надежность и долговечность (неск. тыс. час.); высокое входное (10^8—10^{11} *ом*) и низкое выходное (неск. *ом*) сопротивления, делающие возможным присоединение к одному источнику сигналов большого числа ламп и обеспечивающие согласование входных и выходных цепей; значит. усиление по току; устойчивость к токовым перегрузкам, температурным и вибрац. воздействиям; простота конструкции. Недостаток Т. т. р.— низкие частотные св-ва, ограничивающие их применение неск. десятками *кгц*.

Управление возникновением анодного тока в Т. т. р. осуществляется подачей импульсов тока или напряжения на управляющие электроды, что вызывает возрастание концентрации нач. электронов, приводящее к снижению напряжения зажигания между анодом и катодом. Для устранения статистич. запаздывания зажигания из-за влияния действия света, естеств. радиоактивности, космич. излучения и др. и стабилизации условий зажигания в большинстве Т. т. р. используется пост. *темный разряд* (подготовительный) с током 1—100 *мка*. Значительно реже для этой цели в баллон Т. т. р. вводится радиоактивный изотоп.

Различают Т. т. р. с токовым и электростатич. управлением. В обоих случаях напряжение питания выбирается меньшим напряжения зажигания промежутка анод — катод. При токовом управлении (рис. 1)

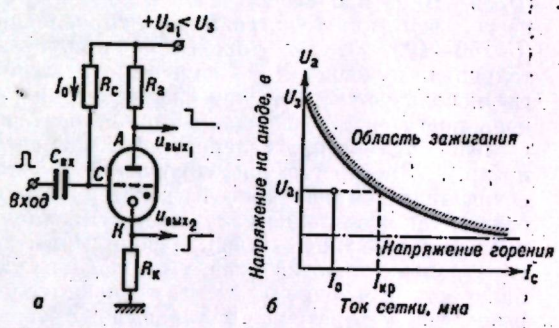


Рис. 1. Схема включения тиратрона тлеющего разряда с токовым управлением (*а*) и его хар-ка зажигания (*б*).

достаточно одной управляющей сетки, к-рая одновременно используется для создания тока подготовит. разряда. Если увеличить в промежутке сетка — катод нач. ток подготовит. разряда I_0 до пек-рой критич. величины $I_{кр}$, то концентрация заряж. частиц увеличивается настолько, что часть из них, диффундируя в анодную область, вызывает (вследствие ионизации) увеличение анодного тока до такого значения, при к-ром электрич. поле искажается объемным зарядом положит. ионов, что, в свою очередь, приводит к зажиганию *самостоятельного разряда*.

Тиратрон с электростатич. управлением имеет две сетки (рис. 2). Сетка C_1 служит для создания подготовит. разряда, C_2 — управляющая. При определ. смещении $U_{c_{20}}$ на управляющей сетке C_2 между первой и второй сетками образуется слабое тормозящее поле, препятствующее проникновению электронов из промежутка C_1 — K в анодную область. При увеличении напряжения (импульсом или постепенно) на сетке C_2 до пек-рой критич. величины тормозящее действие сетки становится слабым; электроны проникают в промежуток A — C_2 и вызывают там ионизацию, приводящую к зажиганию тиратрона в промежутке анод — катод.

Управлять тиратроном можно также путем подачи на анод положительного или на катод отрицательного импульсов с такой

амплитудой, чтобы разность потенциалов между анодом и катодом превысила напряжение зажигания промежутка анод — катод.

Достоинство прибора с токовым управлением в том, что зажигание осуществля-

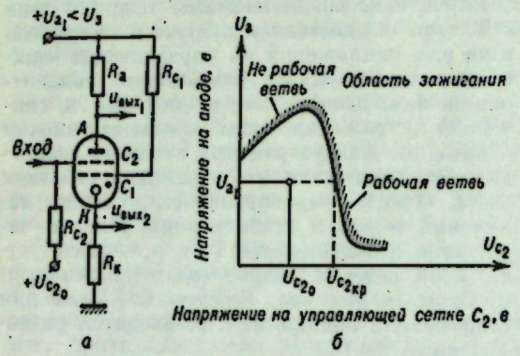


Рис. 2. Схема включения тиратрона тлеющего разряда с электростатич. управлением (*а*) и его хар-ка зажигания (*б*).

ется импульсами, меньшими по амплитуде (U=5—10 *в*) и более короткими по длительности, чем при электростатич. управлении (U=40—100 *в*), но управление при этом только импульсное (за исключением схем, где используется изменение сопротивления в цепи подготовит. разряда, напр. включение в цепь термосопротивления, фотоэлемента и др.). Электростатич. управление может осуществляться как импульсами (емкостная связь), так и медленно изменяющимся напряжением (гальванич. связь). Кроме этого, у тиратронов с электростатич. управлением стабильность к входному сигналу значительно выше, чем у тиратронов с токовым управлением. При соединенных вместе обеих сетках в тиратронах с электростатич. управлением можно осуществлять токовое управление.

Т. к. управляющие импульсы на сетке Т. т. р. не воздействуют на «горящий» прибор, то для гашения разряда между анодом и катодом необходимо снизить разность потенциалов до напряжения, меньшего напряжения горения на время, превышающее время деионизации. Это достигается разрывом анодной цепи или подачей отрицат. импульсов на анод или положительных на катод. Выходное напряжение (50—100 *в*) или ток (до неск. десятков *ма*) могут сниматься как в анодной, так и в катодной цепях (рис. 1, *а* и 2, *а*); они определяются напряжением источника питания анода, ограничивающими сопротивлениями и падением напряжения на лампе, зависящим от вида разряда.

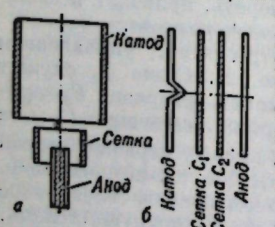


Рис. 3. Схема расположения электродов в нек-рых конструкциях тиратрона тлеющего разряда.

Конструкции Т.т.р. разнообразны. Некоторые из них выполняются в виде системы из никелевых катода и управляющего электрода цилиндрич. формы, а также анода в виде остеклованного молибденового стержня с открытой торцевой поверхностью (рис. 3, *а*); у других катод изготовляется из молибденовой проволоки с выступом для фиксации разряда, никелевых пластин с отверстиями (сетки) и анода из никелевой проволоки (рис. 3, *б*). В зависимости от расположения электродов свечение наблюдается либо с торцевой, либо с боковой стороны стеклянного баллона. Габариты прибора миниатюрные и сверхминиатюрные. Т. т. р. наполняются инертными газами (неоном, аргоном или их смесями) при давлении неск. десятков *мм рт. ст.* Катоды бывают чисто металлические (обычно молибденовые; напряжение горения 100—140 *в*) и активированные (цезием, барием, калием; напряжение горения 60—80 *в*), что обеспечивает меньшее напряжение горения и зажигания, но при этом ухудшается стабильность электрич. параметров.

Электрич. св-ва Т. т. р. определяются комплексом хар-к и параметров. Хар-ки и параметры подготовительного разряда: напряжение зажигания промежутка C_1—K; время запаздывания зажигания; вольтамперная хар-ка.

Хар-ки и параметры входа: хар-ка зажигания (зависимость сеточного тока зажигания или отпирающего напряжения от величины напряжения анодного питания и тока подготовит. разряда); зависимость амплитуды зажигающего входного сигнала от длительности; время запаздывания зажигания между катодом и анодом по отношению к управляющему импульсу.

Хар-ки и параметры выхода: вольтамперная хар-ка анод — катод; напряжение зажигания анод — катод; частотная хар-ка, определяемая временем восстановления электрич. прочности ($t_{восст}$=5—1000 *мксек*), после к-рого анодное напряжение может вновь подаваться без опасения зажигания тиратрона при отсутствии управляющего сигнала, а также временем восстановления управляющего действия сетки. В зависимости от вида хар-к зажигания, числа входов управления, тока анода, частотных свойств и др. Т. т. р. подразделяются на группы: триггерно-релейные — ТХ3Б, ТХ4Б, ТХ5Б (для совместной работы с ПП), ТХ13Г (с повыш. частотными св-вами, $t_{восст} \leqslant 5$ *мксек*), ТХ12Г (релейный, ток анода до 100 *ма*), МТХ-90 (с активированным катодом); логические (см. *Тиратрон логический*) и специальные.

Задача конструкторов Т. т. р.— повышение надежности и долговечности приборов до неск. десятков тыс. час.; улучшение частотных св-в и стабильности электрич. параметров; разработка спец. приборов для телефонии с малым уровнем шумов и низким сопротивлением на звуковой частоте, индикаторов для низких уровней напряжений, комбинац. приборов для дискретной техники, заменяющих определенные функцион. узлы.

Лит.: Кораблев Л. Н., Лампы с холодным катодом, М., 1961; его же, Новые применения ламп с холодным катодом в импульсной аппаратуре, М., 1956; Макар-Лиманов Г. Е. [и др.], «Электронная техника», 1962, вып. 30; Черевычник Ю. К., Элементарные схемы и функциональные узлы вычислительных машин на лампах с холодным катодом, М., 1962; его же, Применение логических ламп с холодным катодом в дискретной технике, М., 1962; его же, Приборы тлеющего разряда в вычислительной технике, М.—Л., 1964; Генис А. А., Горштейн И. Л., Пугач А. Б., Приборы тлеющего разряда, Киев, 1963.

И. А. Кондюков.

ТИРАТРОН ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ (electrometric thyratron; thyratron électrométrique; elektrometrisches Thyratron) — тиратрон тлеющего разряда, предназначенный для регистрации малых токов (нижний предел 10^{-10}—10^{-12} *а*). Применяется для усиления сигналов, вырабатываемых высокоомными датчиками (ионизац. камеры, фотоэлементы), в схемах сигнализации о появлении ионизирующего излучения, обнаружения изменений состава газа, в реле задержки на большие интервалы времени.

Т. э. по принципу действия относится к *тиратронам тлеющего разряда* с токовым управлением. Для уменьшения управляющего тока между сеткой и катодом включается емкость, к-рая заряжается регистрируемым током. Когда напряжение на сеточном промежутке достигает напряжения зажигания, проходит разряд емкости, вызывающий срабатывание лампы. Т. э. отличается от др. тиратронов тлеющего разряда меньшими величинами токов утечки и предразрядного тока. Входное сопротивление Т. э. превышает 10^{12}—10^{14} *ом*. Для уменьшения тока утечки по изоляторам вывод сетки удаляется от выводов др. электродов (обычно сетка выводится через купол баллона), внешняя поверхность стеклянной колбы покрывается гидрофобным составом; изоляторы, крепящие сетку, защищаются от запыления материалом катода в процессе изготовления прибора. Для уменьшения предразрядного тока уровень начальной ионизации должен быть достаточно низким. Небольшая начальная ионизация, необходимая для снижения статистич. запаздывания зажигания, создается радиоактивным источником малой активности, помещаемым внутри баллона лампы.

Осн. параметры Т. э.: анодное напряжение 200—250 *в*, анодный ток 10—20 *ма*, падение напряжения 100—130 *в*, напряжение зажигания промежутка сетка — катод 100—150 *в*, запаздывание выходного сигнала — от долей до десятков сек. (в зависимости от величины регистрируемого тока). Большая инерционность Т. э. связана с необходимостью зарядки накопит. емкости сетка — катод (миним. величина емкости 10—30 *пф*), а также со статистич. запаздыванием зажигания разряда, обусловленным малой начальной концентрацией заряж. частиц в газе.

Осн. преимущества Т. э. по сравнению с электронными электрометрич. лампами: надежность, долговечность и экономичность, связанные с отсутствием накала, бо́льшая выходная мощность. Недостатки: меньшая чувствительность и бо́льшая инерционность. Как и во всех тиратронах, после зажигания разряда в приборе сетка теряет управляющее действие и разряд гасится снижением анодного напряжения.

На рис. 1 дана схема дымового пожарного извещателя с Т. э. Ионизац. камера *ИК*, содержащая радиоактивный источник, сообщается с воздухом. Через *ИК* и последовательно включенное сопротивление R ($\sim 10^{11}$ *ом*) протекает ток порядка 10^{-9} *а*. В отсутствие сигнала напряжение между сеткой и катодом устанавливается ниже напряжения зажигания. При попадании продуктов горения в *ИК* ее сопротивление возрастает; в результате напряжение между сеткой и катодом увеличивается и достигает напряжения зажигания сеточного промежутка. Емкость *ИК*, равная ~30 *пф*, разряжается через сеточный промежуток, что приводит к возникновению анодного тока и срабатыванию реле. На рис. 2 приведена схема обнаружения ионизирующего излучения. Т. э. срабатывает

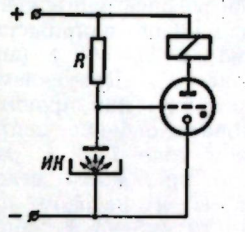


Рис. 1.

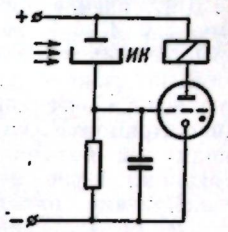


Рис. 2.

Рис. 1. Принципиальная схема пожарного извещателя.

Рис. 2. Принципиальная схема обнаружения ионизирующего излучения.

при попадании в *ИК* ионизирующего излучения.

Лит.: Жданов С. М., Макаров В. М., Шестаков А. Л., Автоматическая пожарная сигнализация, М., 1960; Жданов С. М., Макаров В. М., Быстродействующий автоматический пожарный извещатель, срабатывающий от дыма, «Пожарное дело», 1958, № 1; Mehl E., Steuerung von Glimmtrioden mit kleinsten Strömen, «Helv. phys. acta», 1953, v. 26, № 6, S. 574—77; его же, Die Erzeugung von Kippentladungen mit extrem kleinen Strömen und ihre Anwendung in Gasentladungstrioden und in lichtgesteuerten Relaisröhren, «Appl. Scient. Res. B.», 1955, v. 5, № 1—4, S. 309—12; Gessner R., Aufbau und Arbeitsweise von Relaisröhren, «Radio und Fernsehen», 1957, № 17, S. 535.

М. Л. Мартинсон.

ТИРИСТОР, управляемый полупроводниковый вентиль (thyristor; thyristor; Thyristor), — ПП прибор с p—n—p—n-структурой. Основой Т. служит четырехслойная пластинка кремния (рис. 1), причем внутр. слой (база) обычно n-типа значительно шире других, составляет 100—200 *мк*, имеет уд. сопротивление 30 — 50 *ом·см*. Внешние слои структуры, эмиттирующие дырки и электроны, делаются низкоомными ($\rho \simeq 0{,}1$ *ом·см* и менее). Наружный p-слой (на рис. нижний) через термокомпенсирующую прокладку (свинец, молибден) припаивается к кристаллодержателю корпуса. От внешнего n-слоя и узкой внутренней базовой p-области делаются выводы. Общий вид конструкции Т. показан на рис. 2. Вольтамперная хар-ка Т. (рис. 3) имеет участок с отрицат. сопротивлением. При подаче тока $I_у$

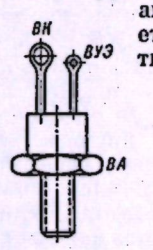


Рис. 1. Структура тиристора: *А* — анод; *К* — катод; *УЭ* — управляющий электрод.

Рис. 2.

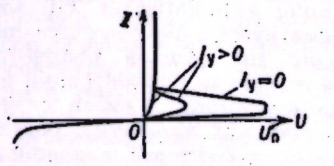


Рис. 3.

Рис. 2. Общий вид конструкции тиристора: *ВА* — вывод анода; *ВК* — вывод катода; *ВУЭ* — вывод управляющего электрода.

Рис. 3. Вольтамперная характеристика тиристора.

в цепь управляющего электрода (плюс на p-области) хар-ка переходит в обычную диодную, отрицат. участок исчезает.

Т. выпускаются на средний ток от неск. десятков *ма* до 200 *а*. Одним из осн. параметров Т. служит напряжение переключения $U_п$. Допускаемое прямое рабочее напряжение обычно в 1,3—2 раза меньше напряжения переключения и составляет 25—400 *в* (значительно реже — до 600 *в*). Допускаемое обратное рабочее напряжение, как правило, равно прямому. Остаточное падение напряжения при номинальном токе 1—2 *в*. Напряжение, к-рое нужно приложить между управляющим электродом и катодом для включения Т., составляет 0,5—3 *в*. Мощность, необходимая для включения Т. со средним током 50—200 *а*, не превышает обычно 1 *вт*, тогда как переключаемая мощность достигает десятков *квт*.

Быстродействие Т. характеризуется временем включения и временем выключения. Эти параметры сильно зависят от схемы и режима измерений, напр., время включения сокращается при увеличении амплитуды управляющего импульса. Типовое значение времени включения 1—3 *мксек*. Время выключения определяется гл. обр. продолжительностью процесса рекомбинации электронов и дырок в ПП и составляет обычно 10—20 *мксек*.

Быстрое распространение Т. объясняется существ. преимуществами их по сравнению с тиратронами и др. ионными приборами. Они не требуют мощности на подогрев, имеют малое падение напряжения в открытом состоянии, небольшое время выключения. Т. обладают также рядом преимуществ по сравнению с транзисторами: рабочее напряжение выше; они имеют большее усиление при включении. Однако выключение Т. средней и большой мощности осуществляется только в анодной цепи, за исключением области малых токов (10—100 *ма*).

Т. применяются для генерации импульсов мощностью от неск. *вт* до неск. десятков *квт* длительностью 1 *мксек* и выше, в схемах защиты и др. схемах автоматики. Широкое применение Т. находят в различного рода преобразоват. устройствах, *инверторах*, в т. ч. на повыш. частоту. Перспективно применение Т. в управляемых выпрямителях и схемах регулируемого электропривода (см. также *Четырехслойные полупроводниковые приборы*).

Лит.: Полупроводниковые приборы с отрицательным сопротивлением. Сб. переводных статей, под ред. С. А. Горяинова, М.—Л., 1962; Полупроводниковые управляемые вентили — тиристоры. (Сб. ст.), под ред. М. Г. Чиликина, М.—Л., 1964.

В. А. Кузьмин.

ТИТРАТОР АВТОМАТИЧЕСКИЙ (automatic titrator; appareil de titration automatique; automatischer Titrator) — прибор, автоматически осуществляющий титрование — один из методов количеств. анализа для определения концентрации данного вещества, находящегося в смеси с др. компонентами. В системах автоматич. регулирования технологич. объектов Т. а. используется как датчик САР. Т. а. обычно состоит из трех осн. частей: блока дозирования и смешивания контролируемого раствора с титрантом, индикатора конечной точки титрования (чувствительного элемента), блока управления. В Т. а. дискретного действия для подачи растворов обычно используются дозаторы мембранные, плунжерные, с вращающимися кранами, дозирующие пипетки, шприцы, мерные сосуды, а также запорные соленоидные клапаны. В Т. а. непрерывного действия могут применяться дозаторы плунжерные (спаренные), шестеренчатые, с гидравлич. сопротивлением и др. (см. *Дозатор*). В Т. а. дискретного действия обычно соблюдается соответствие между общим расходом титранта на титрование и значением сигнала, подаваемого к системе регулирования. В Т. а. непрерывного действия либо также может соблюдаться указанное соответствие, либо расход титранта поддерживается постоянным во времени и значение управляющего сигнала является ф-цией величины отклонения состава титруемого раствора от заданной хар-ки.

По методу определения конечной точки титрования различаются Т. а. потенциометрические, фотометрические, кондуктометрические, амперометрические и термохимические.

Наиболее распространены потенциометрич. Т. а. В них измеряющим и управляющим сигналом служит разность потенциалов, возникающая на паре электродов (сравнительном и индикаторном). Сравнит. электрод имеет пост. потенциал. Потенциал индикаторного электрода соответствует концентрации контролируемого вещества (см. *Концентрации водородных ионов измерение*). При значениях разности потенциалов порядка 400—1000 *мв* возможно непосредств. срабатывание управляющей релейной или электронной схемы. При малых значениях потенциала применяют электронные усилители.

На рис. 1 показана схема потенциометрич. Т. а. марки АТ-2м дискретного действия,

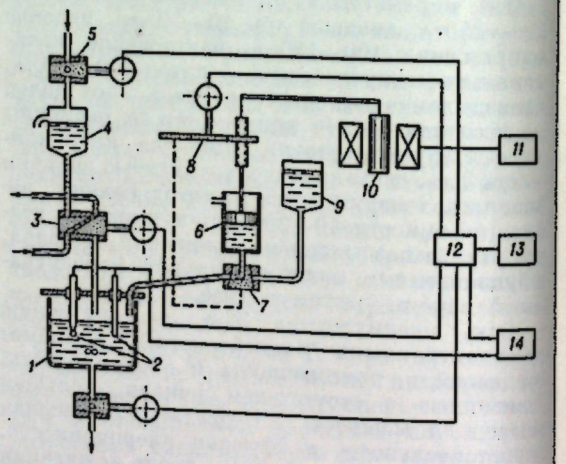


Рис. 1.

применяемого для агрессивных и вязких жидкостей, подаваемых к Т. а. под избыточным давлением: *1* — аналитич. камера; *2* — электроды; *3* — дозирующий вращающийся кран для подачи определяемого раствора; *4* — сосуд для подачи к крану промывающего растворителя; *5* — запорный кран; *6* — шприц для подачи стандартного раствора; *7* — трехходовой кран; *8* — шестеренчатая передача для перемещения поршня шприца и крана; *9* — сосуд со стандартным раствором; *10* — индукционный датчик; *11* — регистрирующий прибор; *12* — релейное устройство; *13* — блок управления; *14* — электронный сигнализатор. Т. а. может производить свыше 10 операций титрования в час.

На рис. 2 показана схема потенциометрич. Т. а. непрерывного действия, к-рый состоит из плунжерного дозатора *1* для подачи стандартного раствора с перем. расходом, бака *2*

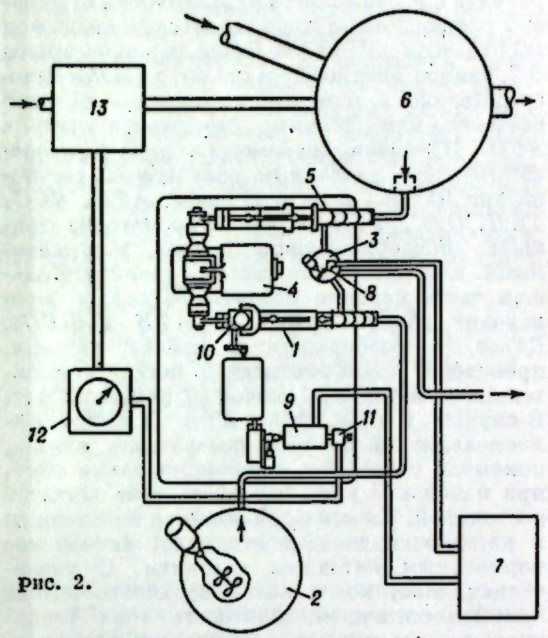


Рис. 2.

со стандартным раствором, аналитич. камеры *3*, привода *4* для обоих дозаторов, работающих в одной фазе, плунжерного дозатора *5* для подачи в камеру контролируемого раствора с постоянным расходом, технологич. объекта регулирования *6*, контролирующего блока *7*, чувствит. элемента *8*, реверсивного электродвигателя *9* (изменяет настройку дозатора), механизма *10* (изменяет длину хода плунжера дозатора), датчика *11* расхода дозатора, регистратора *12* и исполнит. механизма *13* в системе САР. Число оборотов привода *4* может изменяться в пределах от 10 до 1000 *об/мин*. Расход дозатора ~ 8 *л/ч*. Под воздействием блока *7* расход стандартного раствора меняется, поддерживая на индикаторных электродах заданное значение потенциала. Управляющий сигнал направляется к механизму *13*.

В фотометрических Т. а. индикатором конечной точки титрования служат фотоколориметр или спектрофотометр, реагирующий на изменение поглощения света (с определ. длиной волны, включая ультрафиолетовые и инфракрасные лучи) контролируемым раствором. Применение фотометрич. Т. а. возможно в случаях, когда в процессе титрования в точке эквивалентности происходит изменение цвета, изменение преломления света или оптич. плотности раствора. На рис. 3 показана схема фотометрич. Т. а. для определения жесткости воды, состоящего из сосуда *1* (с постоянным напором для подачи контролируемого раствора), аналитич. камеры *2*, поплавка *3* (для отмеривания дозы контролируемого раствора), соленоидных клапанов *4*, контактов управления клапанами *5*, осветителя *6*, фотосопротивления со светофильтром *7*, поршня *8* (подает заданную дозу смеси индикатора с буферным раствором), поршня *9* для подачи стандартного раствора, червячной пары *10*, приводимой в движение реверсивным электродвигателем, электромагнитов *11* (служат для захвата штоков поршней) и контролирующего блока *12*.

В кондуктометрических Т. а. осуществляется измерение электропроводности, тит-

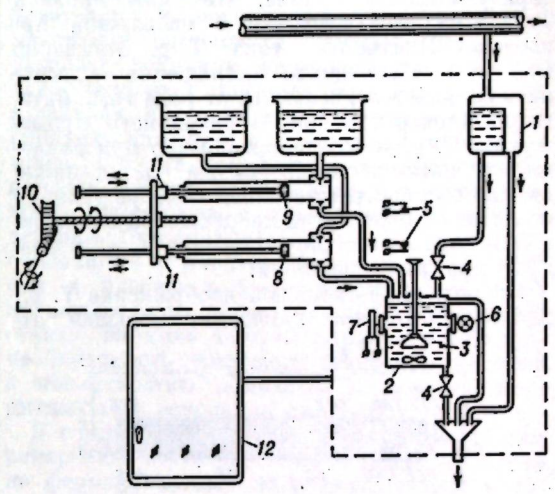


Рис. 3.

руемого раствора, для чего используются различные типы *концентратомеров кондуктометрических*. В последние годы широко распространяются бесконтактные ВЧ Т. а. На рис. 4 показана схема кондуктометрич. Т. а., состоящего из шприца *1* для подачи стандартного раствора, электропривода *2*, кассеты с фотобумагой *3*, зеркального гальванометра *4*, аналитич. камеры *5*, платиновых электродов *6*, измерит. моста *7* (одним из его плеч служит сопротивление раствора),

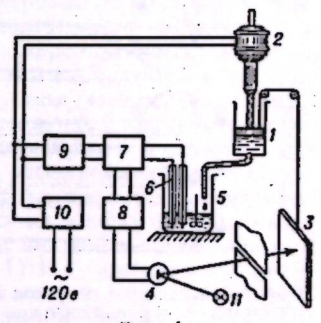


Рис. 4.

выпрямителя *8*, генератора частоты *9*, стабилизатора напряжения *10* и источника света *11*.

В амперометрич. Т. а. хар-кой концентрации контролируемого вещества является величина тока в цепи двух измерит. электродов, к к-рым приложено поляризующее напряжение от внешнего источника эдс.

В термохимич. Т. а. используется повышение (при экзотермич. реакции титрования) или понижение (при эндотермич. реакции титрования) темп-ры титруемого раствора при титровании с достижением экстремального значения в конечной точке титрования. Для измерения изменяющейся темп-ры применяют ПП термосопротивления с электронными усилителями и компенсац. схемой.

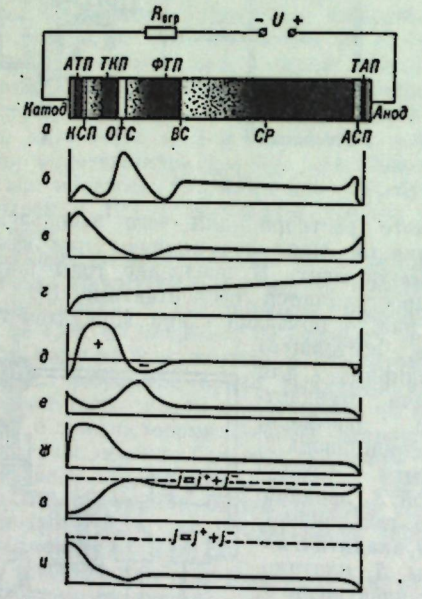
Лит.: Алексеев Н. Г., Прохоров В. А., Чмутов К. В., Применение электронных приборов и схем в физико-химическом исследовании, М., 1961.

С. М. Финкельштейн.

ТЛЕЮЩИЙ РАЗРЯД [glow discharge; décharge lente (à lueurs); Glimmentladung] — форма *самостоятельного разряда* в газах, характеризуемая наличием около катода значит. пространств. заряда, образованного положит. ионами и обусловливающего большое катодное падение потенциала. Электроны,

поддерживающие ток самостоят. разряда величиной до неск. десятков *ма*, вылетают гл. обр. из катода вследствие бомбардировки его положит. ионами и световыми квантами, образующимися в газе. Внешний признак Т. р.— видимое свечение с небольшой яркостью. Плотность тока Т. р. примерно 10^{-5}—1 *а/см*^{2}; падение напряжения — десятки и сотни *в* в зависимости от рода газа, материала электродов, длины разрядного промежутка. Т. р. наблюдается обычно при давлении в неск. десятков *мм рт. ст.* и ниже; однако при соответствующем подборе условий во внешней цепи и при непрерывном охлаждении катода возможно получение Т. р. в воздухе при атм. давлении.

На рис. дано схематич. изображение Т. р., наблюдаемого при давлении, меньшем атмосферного. Непосредственно у катода расположено астоново темное пространство *АТП*. Электроны, выбитые из катода ионами, пройдя это пространство и набрав достаточную энергию, возбуждают молекулы газа в следующем слое. Этот светящийся слой наз. первым катодным свечением или катодной светящейся пленкой *КСП*. Далее следует темное катодное пространство *ТКП*, в к-ром электроны, вышедшие из катода, приобретают такие большие скорости, что вероятность возбуждения ими молекул газа уменьшается, в связи с чем уменьшается и свечение. В *ТКП* происходит интенсивная ионизация и образуются электронные лавины. Электроны лавин возбуждают молекулы в следующем слое, образуя отрицат. тлеющее свечение *ОТС*. В этой области — большая концентрация ионов и медленных электронов и происходят интенсивная рекомбинация и излучение. Следующая область — темный участок (фарадеево темное пространство *ФТП*), где возбуждения не происходит вследствие потери энергии электронами. В *ФТП* движущиеся электроны вновь накапливают энергию и вызывают свечение в следующей области, наз. столбом разряда *СР*.Эта область в зависимости от условий разряда может продолжаться до анода или распадаться на ряд участков: вершина столба *ВС*, темное анодное пространство *ТАП* и непосредственно у поверхности анода — анодное свечение, или анодная светящаяся пленка *АСП*. Изменение параметров в Т. р., соответствующее указанным областям Т. р., показано на рис. *б* — *и*. Области *АТП*, *КСП*, *ТКП*, *ОТС*, *ФТП*, в к-рых происходят процессы, поддерживающие разряд, наз. главными, или катодными частями разряда. Бо́льшая часть падения потенциала в Т. р. происходит вблизи катода (в *АТП* и *КСП*). Далее, в особенности в столбе разряда, происходит лишь медленное повышение потенциала; небольшой скачок возникает в *ТАП*. В случае нормального Т. р. (см. *Самостоятельный разряд*) поверхность катода, покрытая свечением, пропорциональна току, при изменении тока плотность тока остается постоянной. Вместе с тем остается постоянным и катодное падение потенциала, называемое нормальным катодным падением. С увеличением тока, когда вся поверхность катода покрыта свечением, плотность тока увеличивается, что вызывает увеличение катодного падения. Эта стадия наз. аномальным Т. р., а падение — аномальным катодным падением. Дальнейшее увеличение тока аномального Т. р. сопровождается переходом разряда в дуговой. Нормальное катодное падение потенциала и отношение плотности тока к квадрату давления в нормальном Т. р. не зависят от давления газа, а определяются лишь материалом катода и составом газа. Между нормальным катодным падением $U_{кн}$ и работой выхода электрона W_i из катода существует связь $U_{кн} \approx cW_i$, где c — константа, характерная для данного газа. Нормальное катодное падение всегда меньше потенциала зажигания самостоят. разряда.



Области тлеющего разряда: *а* — общая картина разряда; *б* — распределение яркости свечения; *в* — распределение напряженности поля; *г* — кривая потенциала относительно катода; *д* — распределение общего пространств. заряда ($\varrho = \varrho^+ - \varrho^-$); *е* — концентрация отрицат. зарядов (N^- или ϱ^-); *ж* — концентрация положит. зарядов (N^+ или ϱ^+); *з* — плотность электронного тока (j^-); *и* — плотность ионного тока (j^+).

Практич. применение Т. р. нашел в газоразрядных приборах: *стабилитронах тлеющего разряда*, *тиратронах тлеющего разряда*, *декатронах*, *лампах неоновых индикаторных* и *лампах цифровой индикации*. Ведутся работы по осуществлению с помощью Т. р. химич. реакций, в частности для полимеризации в газовой фазе. Т. р. может служить для приближ. измерения слабых токов. Напр., в трубке, имеющей катод в виде стержня, катодное свечение пропорционально току, что может служить мерой тока. В Т. р. происходит *катодное распыление*, т. е. выбивание атомов и частиц материала под действием ударяющихся в катод положит. ионов. Т. р. применяется при спектроскопии металлов и в технологии изготовления ПП приборов.

Лит. см. при статье *Самостоятельный разряд*.

И. А. Кондюков.

ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЯ ИЗМЕРЕНИЯ (coating thickness measurement; mesures d'epaisseur de revêtement; Belagsdickemessung). Для автоматич. Т. п. и. используются нек-рые из след. неразрушающих методов контроля.

Радиоактивный метод основан на явлении обратного β-рассеяния, энергия и интенсивность к-рого зависят от толщины покрытия и атомных номеров элементов

покрытия и основания. До нек-рой толщины (около 0,3 *мм*) интенсивность обратного β-рассеяния прямо пропорциональна толщине, а затем происходит насыщение. Составив тарировочные графики, можно контролировать изделия с различными сочетаниями материалов покрытия и основания (если разница атомных номеров не менее двух). Т. п. и. радиоактивным методом можно производить бесконтактно. Прибор ИТП-476, основанный на радиоактивном методе, служит для непрерывного автоматич. измерения толщины оловянного покрытия на стальной ленте в процессе горячего или электролитич. лужения. Прибор состоит (рис. 1) из двух

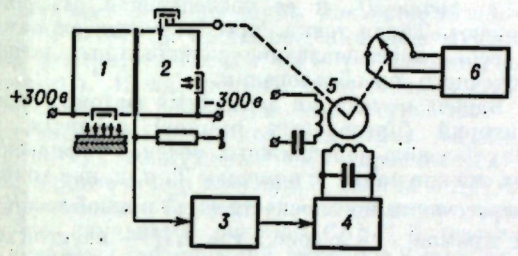


Рис. 1. Блок-схема прибора ИТП-476.

ионизац. камер (рабочей *1* и компенсационной *2*) с источником излучения изотопом Tl^{204}, вибропреобразователя *3*, усилителя *4*, исполнит. двигателя *5* и автоматич. потенциометра *6*. Предел Т. п. и.— *5 мк*, погрешность ±3%. Для измерения требуется участок не менее 70 *мм*·130 *мм*. Допустимые колебания ленты относительно источника излучения ±0,75 *мм*. Недостатки метода: огранич. скорость измерения и невозможность контроля при малой поверхности изделия.

Термоэлектрический метод заключается в измерении термоэдс, возникающей между металлом покрытия и основным металлом при нагревании щупами, приложенными к покрытию и основанию. Темп-ра места соединения покрытия с основанием, определяющая термоэдс, зависит от толщины покрытия. Недостатки метода, затрудняющие его использование для автоматич. Т. п. и.: необходимость хорошего контакта, большая инерционность, влияние на результаты измерения термоэлектрич. свойств покрытия и основания, трудность измерения мягких покрытий.

Емкостный метод основан на зависимости емкости конденсатора от толщины слоя диэлектрика между обкладками. Обкладками конденсатора служат спец. электрод с постоянной площадью и основной металл детали. Метод применим для контроля непроводящих покрытий. Погрешность измерения толщины ±3—5%. Недостатки метода: сильное влияние на результаты измерения изменений диэлектрич. проницаемости покрытия и повышенные требования к чистоте поверхности измеряемого покрытия.

Метод сопротивления состоит в измерении сопротивления покрытия на контролируемом участке изделия между приложенными к нему щупами. Недостатки метода: возможность повреждения поверхности покрытия и влияние изменений электропроводности покрытия и основания.

При электромагнитном методе пользуются электромагнитом, магнитная цепь к-рого образована его сердечником, немагнитным покрытием и магнитным основанием изделия. Изменение толщины покрытия влияет на сопротивление магнитной цепи, а следовательно, на магнитный поток в сердечнике магнитной системы. Магнитный поток определяет величину индуктивности катушки однообмоточной системы или величину эдс в измерит. катушке двухобмоточной системы. Приборы для Т. п. и. электромагнитным методом состоят из датчика-электромагнита, измерит. схемы, выпрямителя, магнитоэлектрич. индикатора и стабилизатора питания датчика. Приборы ИТ-1, ИТ-2, ТПО-1, ЭТУ, основанные на электромагнитном методе, просты и удобны в эксплуатации. Они дают погрешность не более ±5—10%. Осн. недостатки: влияние чистоты обработки изделия, необходимость хорошего контакта датчика с поверхностью покрытия и влияние магнитных св-в основания изделий.

Отрывной метод, применяемый для измерения толщины немагнитных покрытий на ферромагнитных изделиях, состоит в измерении силы отрыва пост. магнита или электромагнита от поверхности изделия. В последнем случае часто о толщине покрытия судят по величине тока в обмотке электромагнита в момент отрыва его от изделия. Погрешность измерения ±5%. Недостатки метода: зависимость точности измерения от магнитных св-в материала основания и чистоты обработки поверхности изделия.

Универсальным и перспективным методом Т. п. и. является метод вихревых токов (см. *Измерения возбуждением вихревых токов*), позволяющий измерять как металлич., так и неметаллич. покрытия на ферромагнитных и неферромагнитных изделиях, если электропроводность или магнитная проницаемость покрытия и изделия различны. Для Т. п. и. методом вихревых токов широко применяют прибор ТПН-1, предназначенный для измерения толщины от 1 до 200 *мк* лакокрасочных, оксидных и других неэлектропроводящих покрытий, нанесенных на неферромагнитные металлич. изделия. В зависимости от толщины покрытия изменяются активное и индуктивное сопротивления датчика (катушки, накладываемой на поверхность покрытия). Погрешность измерений ±3—4%. Для измерения толщины гальванич. покрытий на стальных изделиях применяют толщиномер типа ППМ-6М (рис. 2). Накладной

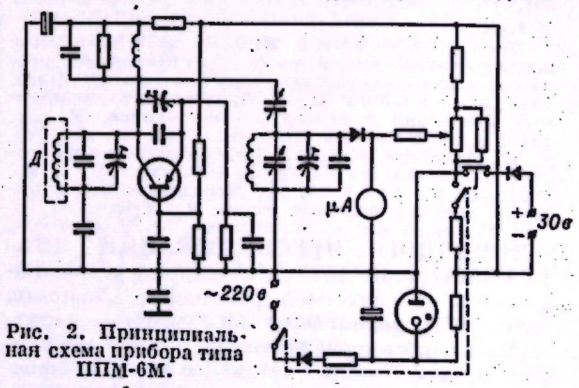


Рис. 2. Принципиальная схема прибора типа ППМ-6М.

датчик *Д* прибора включен в колебат. контур автогенератора, собранного на транзисторе. Изменение толщины покрытия приводит к

изменению индуктивности датчика, что вызывает изменение частоты автогенератора. В качестве частотного дискриминатора использована схема с расстроенным резонансным контуром. При изменении частоты изменяется величина тока микроамперметра, к-рый является индикатором измеряемой толщины покрытия. Погрешность измерений не превышает ±15%. Контроль толщины покрытий методом вихревых токов практически безинерционный, может осуществляться бесконтактным способом, что позволяет во многих случаях автоматизировать процесс контроля. Так, прибор контроля и управления режимами гальванич. процессов ПУРП-1 обеспечивает измерение толщины покрытия в процессе осаждения и автоматич. сигнализацию о достижении заданной толщины, автоматич. регулирование плотности тока и темп-ры электролита. Осн. части прибора: толщиномер, автоматич. регулятор плотности тока, автоматич. регулятор темп-ры электролита и блок питания. Т. п. и. в данном приборе основаны на индуктировании вихревых токов в металлич. фольге, охватывающей катушку L_1 (рис. 3)

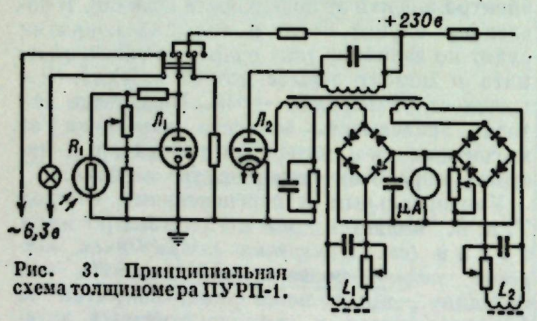


Рис. 3. Принципиальная схема толщиномера ПУРП-1.

датчика, помещаемого в электролитич. ванну. Увеличение толщины слоя металла, осаждаемого на фольге, изменяет сопротивление катушки L_1, включенной в одно из плеч дифференц. схемы измерения. Измерит. схема прибора питается от автогенератора, собранного на триоде $Л_2$; индикатором толщины служит микроамперметр. Фотосопротивление R_1 и тиратрон с холодным катодом $Л_1$ обеспечивают сигнализацию об отклонении стрелки индикатора на определ. величину, соответствующую заданной толщине. Если условия нанесения покрытия на контролируемое изделие и на фольгу датчика одинаковы, то погрешность измерений не превышает ±15%.

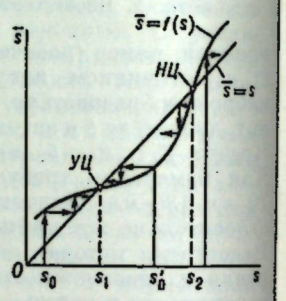
Лит.: Друченко В. А. [и др.], Устройства для автоматизации контроля и регулирования процессов нанесения гальванических покрытий, Киев, 1963; Штейнбок И. И., Применение радиоактивных излучений в измерительной технике, М.—Л., 1960; Дефектоскопия металлов. Сб. ст., под ред. Д. С. Шрайбера, М., 1959; Приборостроение и средства автоматизации контроля. [Сб. ст.], кн. 1, М., 1961; Дорофеев А. Л., Неразрушающие испытания методом вихревых токов, М., 1961.

В. Г. Герасимов, А. М. Мушкин, Ю. Я. Останин.

ТОЧЕЧНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ДИАГРАММА [point—to—point mapping graph; diagramme de conversion ponctuelle; Diagramm nach (mit) gepunkteten Meßwerten] — характеризует взаиморасположение к.-л. выбранной кривой (напр., прямой) с кривой, представляющей собой график ф-ции последования. Взаиморасположение этих кривых позволяет судить о структуре разбиения фазовой плоскости на траектории, об устойчивости положения равновесия и периодич. колебаний системы, а также о характере протекания переходных процессов.

Пусть s и $\bar{s}$ — координаты различных точек и их последующих на отрезке L (s — текущее начальное значение, а $\bar{s}$ — значение после одного оборота изображающей точки вокруг начала координат). Ф-ция $\bar{s} = f(s)$ наз. ф-цией последования и выражает собой закон нек-рого точечного преобразования отрезка L, устанавливая однозначное соответствие между точками этого отрезка и их последующими. Если нек-рому значению $s = s_0$ соответствует замкнутая траектория, то $f(s_0) = s_0$, т. е. точка Q и ее последующая $\bar{Q}$ совпадают. Такие точки, преобразующиеся сами в себя, носят название неподвижных точек точечного преобразования.

Задача отыскания замкнутых фазовых траекторий (предельных циклов) сводится к нахождению неподвижных точек. Графически их можно найти с помощью Т. п. д. как точки пересечения на плоскости $(s, \bar{s})$ кривой $\bar{s} = f(s)$ и прямой $\bar{s} = s$ (рис., где *НЦ* — неустойчивый цикл, *УЦ* — устойчивый цикл). Чтобы определить характер движения системы при любом начальном положении изображающей точки s_0, достаточно провести из этой точки прямую, параллельную оси ординат до пересечения с $\bar{s} = f(s)$, а затем прямую, параллельную оси абсцисс до пересечения с прямой $\bar{s} = s$. Из полученной точки пересечения снова проводится вертикальная прямая до пересечения с кривой $\bar{s} = f(s)$ и т. д. Рассматривая это построение, убеждаются в том, что устойчивым предельным циклам соответствуют такие точки пересечения кривой $\bar{s} = f(s)$ с прямой $\bar{s} = s$, в к-рых $\bar{s} = f(s)$ имеет меньший наклон к оси абсцисс, чем $\bar{s} = s$. В противном случае будет иметь место неустойчивый предельный цикл. Если кривая $\bar{s} = f(s)$ и прямая $\bar{s} = s$ не пересекаются, то предельного цикла не существует.



Т. п. д. позволяет полностью определить поведение системы при различных начальных возмущениях. Варьируя параметры системы, можно получить такое расположение ф-ции последования, при к-ром переходные процессы приближаются к требуемому виду.

Лит.: Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959; Горская Н. С., Крутова И. Н., Рутковский В. Ю., Динамика нелинейных сервомеханизмов, М., 1959; Основы автоматического управления, под ред. В. С. Пугачева, М., 1963; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

В. И. Попов.

ТОЧНОСТЬ систем автоматического управления (accuracy; précision; Genauigkeit) — точность приближения действительного выходного сигнала системы автоматич. управления (САУ) к требуемому выходному сигналу. Разность между действительным и требуемым выходными сигналами наз. ошибкой выхода системы. Совокупность

ошибок всех выходов образует вектор ошибки системы.

Установившаяся ошибка отработки пост. сигнала после окончания переходного процесса наз. *статической ошибкой*. Текущая ошибка отработки перем. сигнала наз. *динамической ошибкой*. Динамич. ошибка системы изменяется с течением времени.

Ошибки САУ вызываются как ее динамич. свойствами, так и действующими на нее внешними и внутр. возмущениями. Внешними возмущениями могут быть ошибки измерит. приборов, входящих в состав САУ, и воздействия внешней среды на различные элементы САУ. К внешним возмущениям относятся также различные внешние шумы как естественного, так и искусств. происхождения, действующие на измерит. элементы САУ (ее рецепторные органы). К внутренним возмущениям относятся шумы элементов аппаратуры САУ и случайные изменения ее параметров. Внешние и внутр. возмущения САУ практически — случайные ф-ции времени, а иногда и других переменных. Случайные возмущения вызывают случайные ошибки САУ. Вследствие случайных возмущений любая САУ отрабатывает даже детерминированные сигналы, представляющие собой вполне определенные ф-ции времени, со случайными ошибками. Случайные ошибки САУ по самому своему существу всегда динамические. Как и всякая *случайная величина*, ошибка САУ может характеризоваться ее математическим ожиданием (средним значением) и дисперсией. Наиболее полной вероятностной хар-кой ошибки системы служит ее закон распределения. Математич. ожидание (МО) ошибки САУ наз. ее систематической ошибкой. Положит. корень квадратный из дисперсии ошибки САУ наз. средним квадратическим отклонением флуктуационной ошибки. Положительный квадратный корень из МО квадрата ошибки наз. средней квадратической ошибкой (СКО) САУ. В идеальном частном случае, когда на САУ не действуют никакие случайные возмущения, МО ошибки САУ совпадает с полной ошибкой, а флуктуац. ошибка равна нулю.

Т. САУ можно исследовать или для каждых данных условий ее работы, или в среднем для всей совокупности возможных условий ее работы. В первом случае Т. САУ исследуется для различных детерминированных входных полезных сигналов и определяется как ф-ция условий ее работы; выявляются наиболее и наименее выгодные условия ее применения. Во втором случае входной полезный сигнал рассматривается как случайная ф-ция времени, а все возможные конкретные виды входного сигнала — как различные реализации этой случайной ф-ции. При этом определяется средняя Т. САУ для всего множества возможных условий ее работы.

Основные задачи исследования Т. САУ: 1) исследование ошибок САУ, имеющей полностью известные хар-ки (т. н. задача статистич. анализа САУ); 2) определение хар-к САУ или нек-рых ее элементов, обеспечивающих в известном смысле наилучшую возможную точность (т. н. задача статистич. синтеза САУ).

Ошибки САУ. Пусть $X(t)$ и $Y(t)$ — соответственно входной и выходной сигналы системы [$X(t)$ и $Y(t)$ представляют собой векторные ф-ции в случае системы с неск. входами и выходами]. Ошибка системы $E(t)$ есть разность между выходным сигналом и требуемым выходным сигналом

$$E(t) = Y(t) - Y_{тр}(t). \quad (1)$$

Требуемый выходной сигнал $Y_{тр}(t)$ обычно представляет собой результат нек-рого заданного (как правило, линейного) преобразования полезного сигнала $S(t)$, содержащегося во входном сигнале $X(t)$.

При исследовании точности САУ при каждой данной реализации полезного сигнала требуемый выходной сигнал $Y_{тр}(t)$ — вполне определенная (не случайная) ф-ция времени. Систематическая ошибка САУ в этом случае определяется ф-лой:

$$\varepsilon = M[E(t)] = M[Y(t)] - Y_{тр}(t), \quad (2)$$

где M[ ] — математич. ожидание (статистич. среднее) случайной величины, заключенной в квадратные скобки. Дисперсия ошибки САУ в этом случае совпадает с дисперсией выходного сигнала

$$D[E(t)] = D[Y(t)], \quad (3)$$

где символ $D[\ ]$ — дисперсия случайной величины, заключенной в квадратные скобки. СКО η САУ определяется ф-лой:

$$\eta^2 = \varepsilon^2 + D[E(t)]. \quad (4)$$

Для оценки средней точности САУ во всем диапазоне условий ее работы $Y_{тр}(t)$ считается случайной ф-цией времени. В этом случае систематич. ошибка ε и дисперсия флуктуационной ошибки определяются ф-лами:

$$\varepsilon = M[E(t)] = M[Y(t)] - M[Y_{тр}(t)], \quad (5)$$
$$D[E(t)] = D[Y(t)] + D[Y_{тр}(t)] - 2k(t), \quad (6)$$

где $k(t)$ — корреляционный момент значений $Y(t)$ и $Y_{тр}(t)$ в один и тот же момент времени t. СКО при этом определяется той же формулой (4).

Т. о., для исследования точности САУ достаточно уметь вычислять МО, дисперсии и взаимные корреляц. моменты выходных сигналов (истинного и требуемого).

Точность линейных систем. Задача исследования точности САУ проще всего решается для линейн. систем (ЛС), для к-рых имеется хорошо разработанная точная статистич. теория {[1], гл. 7; [2], гл. 13}. Для вычисления МО и дисперсии выходного сигнала ЛС достаточно знать МО $m_x(t)$ и корреляц. ф-цию $K_x(t,t')$ входного сигнала $X(t)$. При этом можно пользоваться любой хар-кой ЛС. Если известна весовая (импульсная переходная) ф-ция ЛС $g(t, \tau)$, то МО и дисперсия выходного сигнала $Y(t)$ определяются ф-лами:

$$m_y(t) = M[Y(t)] = \int_{t_0}^{t} g(t, \tau)\, m_x(\tau)\, d\tau, \quad (7)$$

$$D_y(t) = D[Y(t)] = \int_{t_0}^{t}\int_{t_0}^{t} g(t, \tau)\, g(t, \tau')\, K_x(\tau, \tau')\, d\tau\, d\tau', \quad (8)$$

где t_0 — момент включения ЛС. Корреляционный момент $k(t)$ истинного и требуемого выходных сигналов ЛС $Y(t)$ и $Y_{тр}(t)$ определяется ф-лой:

$$k(t) = \int_{t_0}^{t} d\tau \int_{-\infty}^{\infty} g(t, \tau)\, h(t, \tau')\, K_{xs}(\tau, \tau')\, d\tau', \quad (9)$$

где $h(t,\tau)$ — весовая ф-ция системы (не обязательно физически возможной, вследствие чего интегрирование по τ' производится в общем случае в бесконечных пределах), осуществляющей требуемое линейное преобразование входного полезного сигнала $S(t)$, а $K_{xs}(\tau, \tau')$ — взаимная корреляционная ф-ция полного входного сигнала $X(t)$ и полезного сигнала $S(t)$. В задачах практики помеха чаще всего бывает аддитивной и некоррелированной с полезным сигналом $S(t)$. В этом случае $K_{xs}(\tau, \tau')=K_s(\tau, \tau')$. Ф-лы (7) и (8) с заменой $m_x(\tau)$ на $m_s(\tau)$, $g(t, \tau)$ на $h(t, \tau)$, $K_x(\tau, \tau')$ на $K_s(\tau, \tau')$ и пределов интегрирования бесконечными можно применить и для вычисления МО и дисперсии требуемого выходного сигнала $Y_{тр}(t)$. Аналогичные ф-лы справедливы для ЛС с многими входами и выходами. МО векторного выходного сигнала определяется ф-лой (7), где $m_x(\tau)$ — МО векторного входного сигнала, а $g(t, \tau)$ — матрица весовых ф-ций ЛС. Дисперсия векторного выходного сигнала, представляющая собой матрицу дисперсий и корреляционных моментов его составляющих, определяется ф-лой:

$$D_y(t)=\int_{t_0}^{t}\int_{t_0}^{t} g(t,\tau)\,K_x(\tau,\tau')\,g'(t,\tau')\,d\tau\,d\tau', \quad (10)$$

где $g'(t, \tau')$ — транспонированная матрица весовых ф-ций ЛС. В этом случае

$$k(t)=\frac{1}{2}\int_{t_0}^{t} d\tau \int_{-\infty}^{\infty} [g(t,\tau)\,K_{xs}(\tau,\tau')\,h'(t;\tau')+ \\ +h(t,\tau')\,K'_{xs}(\tau,\tau')\,g'(t,\tau)]\,d\tau', \quad (11)$$

где штрихом отмечены транспонированные матрицы. Для определения весовых ф-ций сложных ЛС обычно применяется моделирование соответствующих сопряженных ЛС в обратном времени {[1], гл. 4, [2], гл. 12}.

Весьма эффективным методом исследования точности любых ЛС служит метод канонич. разложений случайных ф-ций {[2], гл. 9, 10}. Для применения метода канонич. разложений необходимо выразить входной сигнал к.-н. канонич. разложением на соответствующем интервале времени:

$$X(t)=m_x(t)+\sum_{\nu=1}^{\infty} V_\nu x_\nu(t), \quad (12)$$

где V_ν — некоррелированные случайные величины, а $x_\nu(t)$ — координатные ф-ции (не случайные). Тогда, вследствие принципа суперпозиции, выходной сигнал $Y(t)$ выразится таким же канонич. разложением:

$$Y(t)=m_y(t)+\sum_{\nu=1}^{\infty} V_\nu y_\nu(t), \quad (13)$$

где координатные ф-ции $y_\nu(t)$ оказываются результатами прохождения через данную ЛС соответствующих координатных ф-ций $x_\nu(t)$. После нахождения ф-ций $y_\nu(t)$ дисперсия выходного сигнала определяется по ф-ле:

$$D_y(t)=\sum_{\nu=1}^{\infty} D_\nu y_\nu(t)\,\overline{y_\nu(t)}, \quad (14)$$

где D_ν — дисперсии величин V_ν, а чертой сверху отмечен переход к комплексным сопряженным величинам (переход к транспонированным матрицам с одновременной заменой всех элементов комплексными сопряженными; при этом векторы представляются в форме матриц-столбцов). Если известна весовая ф-ция (матрица весовых ф-ций) ЛС $g(t, \tau)$, то для вычисления $y_\nu(t)$ можно пользоваться формулой:

$$y_\nu(t)=\int_{t_0}^{t} g(t,\tau)\,x_\nu(\tau)\,d\tau. \quad (15)$$

Если $g(t,\tau)$ неизвестна, то $m_y(t)$ и $y_\nu(t)$ можно определить моделированием ЛС с входными сигналами $m_x(t)$, $x_\nu(t)$.

Для определения величины $k(t)$, необходимой для оценки средней точности системы, следует представить к.-н. канонич. разложением составную векторную случайную ф-цию $X(t)$, $S(t)$:

$$X(t)=m_x(t)+\sum_{\nu=1}^{\infty} V_\nu x_\nu(t), \quad (16)$$

$$S(t)=m_s(t)+\sum_{\nu=1}^{\infty} V_\nu s_\nu(t). \quad (17)$$

Тогда

$$Y_{тр}(t)=m_{y_{тр}}(t)+\sum_{\nu=1}^{\infty} V_\nu z_\nu(t),$$

$$z_\nu(t)=\int_{-\infty}^{\infty} h(t,\tau)\,s_\nu(\tau)\,d\tau, \quad (18)$$

и

$$k(t)=\frac{1}{2}\sum_{\nu=1}^{\infty} D_\nu [y_\nu(t)\,\overline{z_\nu(t)}+z_\nu(t)\,\overline{y_\nu(t)}]. \quad (19)$$

Совершенно аналогично применяются интегральные канонич. представления. При этом суммирование по ν во всех формулах заменяется интегрированием по непрерывно изменяющемуся параметру ν. Частным видом метода канонич. разложений служит метод формирующего фильтра, к-рый состоит в нахождении ЛС (формирующего фильтра), формирующей входной случайный сигнал $X(t)$ из белого шума. Этот метод удобен для применения на моделирующих устройствах. В частном случае, когда исследуемая ЛС и формирующий фильтр описываются обыкновенными дифференц. ур-ниями вида

$$\dot{Y}=AY+V, \quad (20)$$

где Y — вектор переменных (включая входные и выходные сигналы ЛС), A — матрица коэфф., в общем случае переменных, V — матрица белых шумов, для определения матрицы D_y дисперсий и корреляц. моментов составляющих вектора Y служит след. система линейных дифференц. ур-ний:

$$\dot{D}_y=AD_y+D_yA'+G, \quad (21)$$

где штрихом отмечена транспонированная матрица, а G — матрица интенсивностей и взаимных интенсивностей составляющих векторного белого шума V {[2], гл. 13; [3], гл. 6}.

Из общих ф-л (2) и (7) вытекает след. выражение для установившейся систематич. ошибки стационарной ЛС при полиномиальном входном полезном сигнале

$$[S(t)=m_x(t)=a_0+a_1t+\ldots+a_nt^n]:$$

$$\varepsilon=\sum_{r=0}^{n} c_r m_x^{(r)}(t), \quad c_r=\frac{1}{r!}[\Phi^{(r)}(0)-\Psi^{(r)}(0)], \quad (22)$$

где $c_0, c_1, \ldots, c_n$ — коэфф. ошибок, $\Phi(s)$ — передаточная ф-ция стационарной ЛС, $\Psi(s)$ — передаточная ф-ция стационарной ЛС (не обязательно физически возможной), осуществляющей требуемое преобразование полезного сигнала. Первые три коэфф. c_0, c_1 и c_2 наз. коэфф. ошибок по положению, по скорости и по ускорению. [В теории автоматич. управления коэфф. ошибок чаще наз. величины $-c_r$. Однако, с точки зрения общенаучного определения ошибки как разности между измеренным (или отработанным) и истинным значениями величины, правильнее наз. коэфф. ошибок именно величины c_r].

Из общих ф-л (3) и (14) в интегральной форме вытекает ф-ла для установившейся дисперсии ошибки устойчивой стационарной ЛС, работающей под действием стационарных случайных возмущений:

$$D_\varepsilon=D[\mathrm{E}(t)]=\int_{-\infty}^{\infty} s_x(\omega)\,|\Phi(i\omega)|^2\,d\omega, \quad (23)$$

где $s_x(\omega)$ — спектральная плотность входного случайного сигнала $X(t)$, а $\Phi(i\omega)$ — частотная хар-ка (комплексная) ЛС. Аналогичная ф-ла справедлива для матрицы установившихся дисперсий и корреляц. моментов составляющих вектора ошибки устойчивой многомерной стационарной ЛС:

$$D_\varepsilon=\int_{-\infty}^{\infty} \Phi(i\omega)\,s_x(\omega)\,\overline{\Phi(i\omega)}\,d\omega, \quad (24)$$

где $s_x(\omega)$ —матрица спектральных и взаимных спектральных плотностей вектора входных случайных сигналов $X(t)$, $\Phi(s)$ — матрица передаточных ф-ций ЛС, а черта означает, как и раньше, транспонирование матрицы с заменой всех элементов комплексными сопряженными. Ф-лы (22) — (24) применимы только к устойчивым стационарным ЛС, работающим в установившемся режиме. Для исследования точности стационарных ЛС в переходных или неустойчивых режимах ф-лы (22) — (24) неприменимы; необходимо пользоваться изложенными выше общими методами. В частном случае узкополосной устойчивой стационарной ЛС с одним входом и одним выходом и широкополосного спектра входного сигнала $s_x(\omega)$ приблизительно постоянна в пределах полосы пропускания ЛС и ф-ла (23) дает

$$D_\varepsilon=s_x(\omega_0)\,\Delta\omega_{эф}, \quad \Delta\omega_{эф}=\int_{-\infty}^{\infty} |\Phi(i\omega)|^2\,d\omega, \quad (25)$$

где $\Delta\omega_{эф}$ — эффективная полоса пропускания ЛС.

Точность нелинейных систем. Наиболее простыми и эффективными методами исследования точности нелинейных систем (НС) служат методы обычной и статистич. линеаризации. Обычная линеаризация состоит в разложении всех нелинейных ф-ций, входящих в ур-ния системы, в ряд Тейлора относительно флуктуаций (отклонений случайных величин от их МО) с отбрасыванием всех членов выше первой степени. Такая линеаризация применима только к гладким нелинейностям с зоной приблизительной линейности не меньшей, чем флуктуации входного сигнала {[1], гл. 8; [2], гл. 14}. Для негладких нелинейностей (релейных элементов, ограничителей и т. п.) и нелинейностей, зона нелинейности к-рых значительно меньше флуктуаций входного сигнала, применяется статистич. линеаризация, основанная на такой аппроксимации нелинейности линейной относительно флуктуаций ф-цией, при к-рой достигается в известном смысле наилучшее приближение (в статистич. смысле) выходного сигнала {[1], гл. 8; [2], гл. 14; [4], гл. III}. В результате линеаризации, как обычной, так и статистической, получаются ур-ния, нелинейные относительно МО переменных, но линейные относительно флуктуаций. Последнее дает возможность применить статистич. теорию линейных систем. При применении только обычной линеаризации ур-ния для МО отделяются от ур-ний для флуктуаций и могут быть решены отдельно. После этого МО всех переменных будут известными ф-циями времени и применение линейной теории дает дисперсии и корреляционные моменты переменных. При применении статистич. линеаризации хотя бы к одной нелинейности ур-ния для МО не отделяются от ур-ний для флуктуаций. В этом случае применение линейной теории дает совместные ур-ния для определения МО, дисперсий и корреляц. моментов переменных {[1], гл. 11; [2], гл. 14; [4], гл. IV}. Для исследования влияния шумов на автоколебания применяется совместная статистич. и гармонич. линеаризация {[1], гл. 10; [4], гл. III}.

Другим эффективным приближенным методом исследования точности НС служит метод эквивалентных возмущений {[2], гл. 14; [4], гл. V}.

Точная статистич. теория существует только для двух классов НС: для систем, приводимых к линейным (в частности, для систем, выходные сигналы к-рых выражаются через входные с помощью отрезков рядов Вольтерра); для систем, описываемых обыкновенными дифференц. ур-ниями с аддитивными белыми шумами. К системам первого класса непосредственно применима статистическая теория ЛС {[2], гл. 14}. К системам второго класса применимы уравнения теории марковских процессов [5].

Оптимизация САУ по точности. Основная задача статистич. теории оптимальных систем: определение оптимального, с точки зрения к.-л. статистич. критерия, оператора системы в целом или ее части по данным статистич. хар-кам входных и требуемых выходных сигналов. Пусть $Z(t)$ — входной сигнал системы (вектор входных сигналов в случае системы с неск. входами), представляющий собой искаженный помехами полезный сигнал, $W^*(t)$ — выходной сигнал, $W(t)$ — требуемый выходной сигнал; A — оператор системы, $W^*(t)=AZ(t)$. Задача состоит в определении оптимального оператора A, при к-ром достигается в известном смысле наилучшая точность. Для решения задачи необходимо задать соответствующие статистич. хар-ки случайных ф-ций $Z(t)$ и $W(t)$. Непосредств. применение этой задачи для оптимизации системы управления при фиксированном объекте управления невозможно, т. к. статистич. хар-ки входного

сигнала $Z(t)$ системы управления и ее требуемого выходного сигнала $W(t)$ зависят от ее оператора A, подлежащего определению. Поэтому практически приходится сочетать оптимизацию с методом итераций. Определив в первом приближении оператор A обычными методами синтеза корректирующих цепей без учета случайных возмущений, можно найти статистич. хар-ки $Z(t)$ и $W(t)$ изложенными выше методами анализа точности систем с заданными хар-ками. После этого можно выполнить статистич. оптимизацию системы управления. В результате будет найден оператор A во втором приближении. Этот итеративный процесс можно продолжать неограниченно. Практически достаточно двух, трех итераций. Для оптимизации системы необходимо задать критерий качества, руководствуясь назначением системы (показателями, по к-рым практически оцениваются результаты ее работы: экономическим эффектом, наилучшим качеством к.-л. параметра выходного продукта и т. д.). В задачах практики не существует единого критерия. В зависимости от назначения системы приходится пользоваться различными статистич. критериями. Почти все практически целесообразные критерии суть частные случаи общего критерия минимума среднего риска (бейесова критерия):

$$\mathsf{M}[l(W, W^*)] = \min, \qquad (26)$$

где $l(W, W^*)$ — ф-ция потерь, к-рая может быть обычной ф-цией текущих значений W и W^* или функционалом от W и W^*. Наиболее распространенный критерий точности, во многих случаях подходящий для оценки качества системы,— критерий минимума СКО, к-рому соответствует квадратич. ф-ция потерь: $l(W, W^*)=(W^*-W)^2$. В нек-рых задачах целесообразен критерий минимума вероятности выхода ошибки из заданных пределов. Этому критерию соответствует ф-ция потерь, равная нулю при $\mathrm{E}=W^*-W$ в заданных пределах и единице при выходе E из этих пределов. Часто применяется также обобщенный критерий максимума правдоподобия (максимума апостериорной вероятности), к-рому соответствует отрицат. δ-ф-ция Дирака в качестве ф-ции потерь: $l(W, W^*)=-\delta(W^*-W)$. Теоретич. основой для решения задач, подобных сформулированной основной задаче оптимизации системы по точности, служит теория статистич. решений [6]. Статистич. теория оптимальных систем по существу и представляет собой прикладную теорию статистич. решений, дающую не общие математич. теоремы, а эффективные методы нахождения оптимальных систем и алгоритмов обработки информации. В задачах практики входной сигнал часто представляет собой сумму известной ф-ции времени, зависящей, кроме того, от неизвестных параметров, и случайной ф-ции времени. Первое слагаемое обычно наз. регулярной частью, а второе — нерегулярной частью полезного сигнала. В таких случаях входной и требуемый выходной сигналы выражаются ф-лами:

$$\begin{aligned} Z(t) &= \varphi(t, U) + X(t), \\ W(t) &= \psi(t, U, Y(t)), \end{aligned} \qquad (27)$$

где $\varphi(t, u)$, $\psi(t, u, y)$ — известные ф-ции, U — вектор неизвестных параметров сигнала, к-рые могут быть случайными или просто неизвестными величинами, $X(t)$ — нерегулярная часть входного полезного сигнала, искаженная помехой, обычно аддитивной, $Y(t)$ — результат заданного преобразования нерегулярной части входного полезного сигнала. В частном случае, когда входной полезный сигнал линейно зависит от параметров U и требуемый выходной сигнал $W(t)$ оказывается результатом заданного линейного преобразования полезного сигнала, ф-лы (27) принимают вид:

$$Z(t) = \sum_{r=1}^{N} U_r \varphi_r(t) + X(t), \qquad (28)$$

$$W(t) = \sum_{r=1}^{N} U_r \psi_r(t) + Y(t), \qquad (29)$$

где $\varphi_r(t)$ — известные ф-ции, $\psi_r(t)$ — ф-ции, полученные в результате заданного линейного преобразования соответствующих ф-ций $\varphi_r(t)$. Весовая ф-ция (матричная в случае многомерной системы) линейной системы, оптимальной по отношению к критерию минимума СКО $[l(W, W^*)=(W^*-W)^2]$, определяется ф-лой:

$$g(t, \tau) = g^{(0)}(t, \tau) + \sum_{r=1}^{N} \lambda_r g^{(r)}(t, \tau), \qquad (30)$$

где — $g^{(0)}(t, \tau)$, $g^{(1)}(t,\tau)$,..., $g^{(N)}(t,\tau)$ — решения интегральных ур-ний:

$$\int_{t-T}^{t} g^{(0)}(t, \tau) K_x(\tau, \sigma)\, d\tau = K_{yx}(t, \sigma) \quad (t-T \leqslant \sigma \leqslant t), \qquad (31)$$

$$\int_{t-T}^{t} g^{(r)}(t, \tau) K_x(\tau, \sigma)\, d\tau = \varphi_r(\sigma) \quad (t-T \leqslant \sigma \leqslant t;\ r=1, \ldots, N), \qquad (32)$$

где $K_x(\tau, \sigma)$ — корреляц. ф-ция случайной ф-ции $X(t)$, $K_{yx}(t, \sigma)$ — взаимная корреляционная ф-ция случайных ф-ций $Y(t)$ и $X(t)$, T — интервал наблюдения, к-рый может совпадать или с полным временем работы, системы, или с ее памятью. Величины $\lambda_1,\ldots,\lambda_N$ определяются системой линейных алгебраич. ур-ний:

$$\sum_{q=1}^{N} (b_{pq} + c_{pq}) \lambda_q = \psi_p(t) - b_{p0} \quad (p=1, \ldots, N), \qquad (33)$$

где

$$b_{pq} = \int_{t-T}^{t} g^{(q)}(t, \tau) \varphi_p(\tau)\, d\tau \quad (p=1, \ldots, N;\ q=0, 1, \ldots, N), \qquad (34)$$

а c_{pq} — элементы матрицы, обратной по отношению к матрице моментов второго порядка случайных величин $U_1, U_2, \ldots, U_N$ ($c_{pq}=c_{qp}=0$ при любом q, если величина U_p не случайна и может принимать любые значения или если ее дисперсия бесконечна). Минимальная СКО, соответствующая оптимальной системе, определяется ф-лой:

$$\eta^2 = \mathsf{M}[(W^*-W)^2] = D_y - b_{00} + \sum_{r=1}^{N} \lambda_r [\psi_r(t) - b_{r0}], \qquad (35)$$

где D_y — дисперсия случайной ф-ции $Y(t)$, а

$$b_{00} = \int_{t-T}^{t} g^{(0)}(t, \tau) K_{yx}(t, \tau)\, d\tau.$$

В случае многомерной системы ф-ла (35) применяется по отдельности к каждому выходу оптимальной системы и соответственно в ней должны быть взяты только диагональные элементы входящих в нее матриц. В частном случае, когда входной полезный сигнал не содержит нерегулярной части, $D_y=b_{00}=b_{r0}=0$ и ф-ла (35) упрощается. К ур-ниям того же вида приводят задачи оптимизации ЛС по более общим критериям {[7]; см. также [2], гл. 16}.

Изложенный метод применим также для оптимизации НС, относящихся к классу приводимых к линейным. Так наз. системы, у к-рых выходной сигнал $W^*(t)$ выражается через входной сигнал ф-лой вида:

$$W^*(t) = \sum_{k=1}^{n} \int_{t-T}^{t} \ldots \int_{t-T}^{t} g_k(t, \tau_1, \ldots, \tau_r) \times f_k(t, \tau_1, \ldots, \tau_r, z(\tau_1), \ldots, z(\tau_r))\, d\tau_1 \ldots d\tau_r. \qquad (36)$$

При заданных ф-циях $f_k(t, \tau_1,\ldots, \tau_r, z_1,\ldots, z_r)$ оптимизация такой системы сводится к определению оптимальных весовых ф-ций. Эта задача сводится к оптимизации линейной системы, у к-рой входной сигнал — случайная ф-ция векторного аргумента. Задача решается на основе ур-ний (28)—(35) при $N=1$, $\varphi_1(\tau)=\mathsf{M}[f(t,\tau_1,\ldots, \tau_r, Z(\tau_1),\ldots, Z(\tau_r)]$, где f — векторная ф-ция, составляющие к-рой: ф-ции f_k из (36), и $\psi_1(t)=\mathsf{M}[W(t)]$. В частном случае при $r=n$, $f_k(t, \tau_1,\ldots,\tau_n, z_1,\ldots,z_n)=z_1 z_2 \ldots z_k$ получается оптимизация системы, у к-рой выходной сигнал определяется через входной n первыми членами ряда Вольтерра. Вся трудность оптимизации систем линейных и приводимых к линейным заключается в решении интегральных ур-ний (31), (32). В самом общем случае эти ур-ния решаются методом канонич. разложений случайных ф-ций {[2], гл. 17}, дающим решение в форме бесконечных рядов. В ряде частных случаев эти ур-ния можно решить методом интегральных канонич. представлений, частный случай которого — метод формирующих фильтров {[2], гл. 17}.

Для нахождения оптимальной системы в классе всех возможных систем с входным сигналом $Z(t)$ можно применить общие методы теории статистических решений. При этом допускается, что требуемый выходной сигнал $W(t)$ в каждый данный момент t и при каждом возможном значении u вектора параметров сигнала U и оптимальный оператор в общем случае могут быть случайными. При этом $W(t)$ характеризуется соответствующей одномерной условной плотностью вероятности $p(w \mid u)$, а оптимальный оператор задается условной плотностью вероятности выходного сигнала $\delta(w^* \mid z)$, зависящей от реализации $z(t)$ входного сигнала $Z(t)$. Тогда средний риск, зависящий от выбора $\delta(w^* \mid z)$, определится ф-лой:

$$\varrho(\delta) = \mathsf{M}_z \left[\int_{-\infty}^{\infty} \varrho(w^*, Z)\, \delta(w^* \mid Z)\, dw^* \right], \qquad (37)$$

где знак M_z означает вероятностное осреднение по множеству всех возможных реализаций входного сигнала $Z(t)$;

$$\varrho(w^*, z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} l(w, w^*)\, q(u \mid z)\, p(w \mid u)\, du\, dw \qquad (38)$$

представляет собой средний условный риск, зависящий от входного и выходного сигналов системы, а $q(u \mid z)$ — условную плотность вероятности вектора параметров сигнала U относительно входного сигнала $Z(t)$.

Условная плотность вероятности $\delta(w^* \mid z)$ или соответствующая ей вероятностная мера наз. статистической решающей ф-цией.

Чаще всего в задачах практики почти для любой реализации $z(t)$ входного сигнала $Z(t)$ существует такое значение W^* величины w^*, при к-ром $\varrho(w^*,z)$ достигает минимального значения:

$$\varrho(W^*, z) = \inf_{w^*} \varrho(w^*, z) = \min_{w^*} \varrho(w^*, z). \qquad (39)$$

При этом оптимальный оператор не случаен и статистич. решающая ф-ция $\delta(w^* \mid Z)$ представляет собой обычную δ-ф-цию: $\delta(w^*-W^*)$. Этот оптимальный оператор A, $W^*(t)=AZ(t)$, определяется минимизацией среднего условного риска:

$$\varrho(W^*, Z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} l(w, W^*)\, q(u|Z)\, p(w \mid u)\, du\, dw. \qquad (40)$$

Никакой случайный оператор (алгоритм обработки информации или управления) не может быть в этом случае лучше оператора, определяемого минимизацией интеграла (40).

Требуемый выходной сигнал системы, как правило, вполне определенная ф-ция вектора параметров сигнала U. В этом случае условная плотность вероятности $p(w|u)$ представляет собой δ-ф-цию. Если при этом входной полезный сигнал не содержит нерегулярной части, то $W(t)=\psi(t, U)$, где $\psi(t, U)$ — вполне определенная ф-ция и

$$p(w|u) = \delta(w - \psi(t, u)). \qquad (41)$$

Тогда выражение (40) принимает вид:

$$\varrho(W^*, Z) = \int_{-\infty}^{\infty} l(\psi(t, u), W^*)\, q(u|z)\, du. \qquad (42)$$

Условная плотность вероятности $q(u \mid z)$ вычисляется по заданным статистич. хар-кам параметров сигнала U и помех. В дискретной системе входной сигнал Z представляет собой конечномерный вектор и полной статистич. характеристикой помех служит условная плотность вероятности $f_1(z \mid u)$ вектора Z относительно вектора U. Тогда

$$q(u \mid z) = \frac{f(u) f_1(z \mid u)}{\int_{-\infty}^{\infty} f(u) f_1(z|u)\, du}, \qquad (43)$$

где $f(u)$ — априорная (безусловная) плотность вероятности вектора U (случайных составляющих вектора U, если нек-рые из его составляющих не случайны; $f(u)\equiv 1$, если все составляющие вектора U не случайны). В непрерывной системе $Z(t)$ — случайная ф-ция и $q(u|z)$ вычисляется значительно сложнее. Общий подход к решению этой задачи дан

в {[1] (§ 16,1) и [2] (§§ 141, 144)}. В частном случае аддитивной нормальной помехи

$$q(u|z)=\frac{f(u)\exp\left\{\int\limits_{t-T}^{t} g(t,\tau,u)\,z(\tau)\,d\tau-\frac{1}{2}\beta(u)\right\}}{\int\limits_{-\infty}^{\infty} f(u)\exp\left\{\int\limits_{t-T}^{t} g(t,\tau,u)\,z(\tau)\,d\tau-\frac{1}{2}\beta(u)\right\}du}, \quad (44)$$

где весовая ф-ция (вектор-строка в системе со многими входами) $g(t,\tau,u)$ определяется интегральным ур-нием:

$$\int\limits_{t-T}^{t} g(t,\tau,u)\,K_x(\tau,\sigma)\,d\tau=\varphi(\sigma,u) \quad (t-T\leqslant\sigma\leqslant t), \quad (45)$$

а

$$\beta(u)=\int\limits_{t-T}^{t} g(t,\tau,u)\,\varphi(\tau,u)\,d\tau. \quad (46)$$

Интегральное ур-ние (45) имеет тот же вид, что и (31), (32), и решается теми же методами.

После решения (45) оператор (алгоритм) оптимальной системы определяется минимизацией $\rho(W^*, Z)$. Это может быть выполнено обычными методами, начиная от аналитических и кончая различными вариантами метода наискорейшего спуска.

Изложенный общий метод определения оптимальной системы применим ко многим задачам оптимизации систем и алгоритмов обработки информации, в том числе и к более сложным задачам, чем рассмотренные выше {[2], § 144; [8]}. В частности, этот метод дает общее решение задачи распознавания сигналов (*образов*). Для этого достаточно задать ф-цию потерь в форме матрицы с элементами $l_{ij}=l(W_i, W_j^*)$, представляющими собой оценки потерь, связанных с принятием решения о наличии j-го сигнала при наличии в действительности i-го сигнала ($i, j=1,\ldots, n$ при общем числе n подлежащих различению сигналов). В частном случае при $n=2$ получается общее решение задачи обнаружения сигнала в шумах.

Все методы статистич. теории оптимальных систем дают решение задачи только при известных априорных статистич. хар-ках сигналов (векторов U и W) и помех. При неизвестных статич. хар-ках сигналов и помех можно заменить их соответствующими статистич. оценками, полученными в процессе работы системы. Т. о., возникают статистич. проблемы обучения и самообучения. Эти проблемы состоят в определении в самой системе оптимальных оценок неизвестных статистич. хар-к или непосредственно оптимального оператора (алгоритма) на основе показа системе образцов сигналов или анализа результатов ее работы. В первом случае имеет место процесс обучения, а во втором — процесс самообучения. Проблемы определения статистич. оптимальных алгоритмов обучения и самообучения еще не решены полностью.

Лит.: 1) Основы автоматического управления, под ред. В. С. Пугачева, М., 1963; 2) Пугачев В. С., Теории случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 3 изд., М., 1962; 3) Лэнинг Дж. Х., Бэттин Р. Г., Случайные процессы в задачах автоматического управления, пер. с англ., М., 1958; 4) Казаков И. Е., Доступов Б. Г., Статистическая динамика нелинейных автоматических систем, М., 1962; 5) Пугачев В. С., Применение теории марковских процессов к анализу точности автоматических систем, «ИАН СССР. ОТН. Энергетика и автоматика», 1961, № 3; 6) Блекуэлл Д., Гиршик М. А., Теория игр и статистических решений, пер. с англ., М., 1958; 7) Андреев Н. И., К теории определения оптимальной динамической системы, «АиТ», 1958, т. 19, № 12; 8) Пугачев В. С., К теории обнаружения и оценки сигналов, зависящих от счетного множества параметров, «ИАН СССР. ОТН. Энергетика и автоматика», 1961, № 5.

В. С. Пугачев.

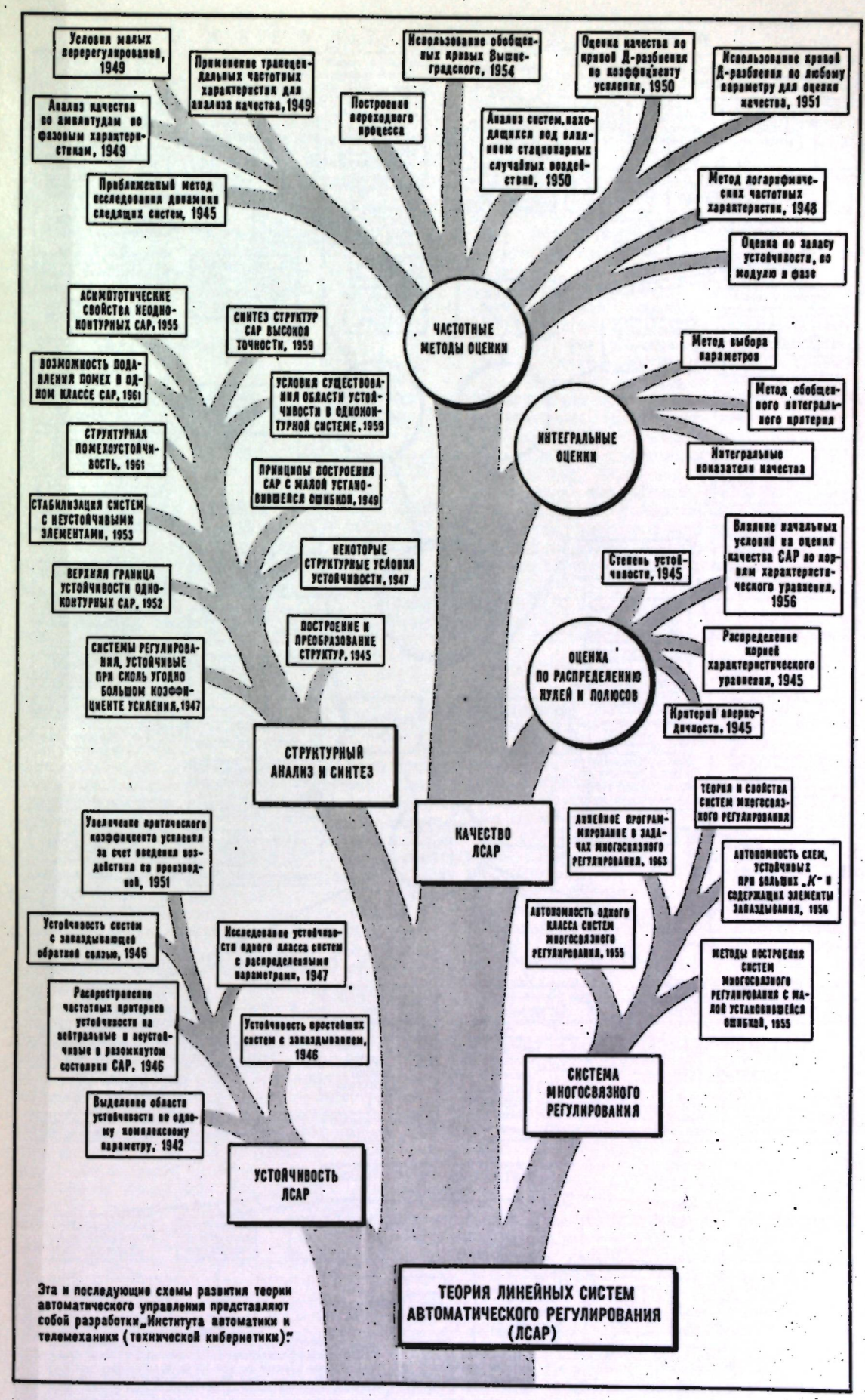
ТОЧНОСТЬ ДИНАМИЧЕСКАЯ САР (dynamic accuracy; précision dynamique; dynamische Genauigkeit) — точность САР при изменяющихся воздействиях. Различают Т. д. при заданных воздействиях и Т. д. при случайных быстро изменяющихся воздействиях. Первый случай имеет смысл тогда, когда воздействие может быть расчленено во времени на ряд интервалов, внутри каждого из к-рых после окончания переходного процесса имеет место установившийся режим. В соответствии с этим при заданных воздействиях рассматривают Т. д. в установившемся режиме и Т. д. в переходном процессе. Т. д. в установившемся режиме характеризуется вынужденной составляющей ошибки системы и определяется видом приложк. воздействия и коэфф. усиления САР. Т. д. в переходном процессе ограничивается быстродействием САР, к-рое, в частности, определяется полосой пропускания замкнутой системы или частотой среза разомкнутой системы. Чем больше эти параметры, тем выше быстродействие САР и ее Т. д. в переходном процессе. Оценку Т. д. в этом случае удобно производить по ее реакции на *типовые воздействия*. В тех случаях, когда входные воздействия представляют собой такие непрерывно и быстро изменяющиеся ф-ции времени, как, напр., различного рода помехи и шумы, понятие «переходного процесса» теряет смысл и пропадает возможность замены реального воздействия к.-л. типовым воздействием. Т. д. оценивается при этом нек-рыми средними, напр. среднеквадратич., значениями ошибки для определ. промежутков времени.

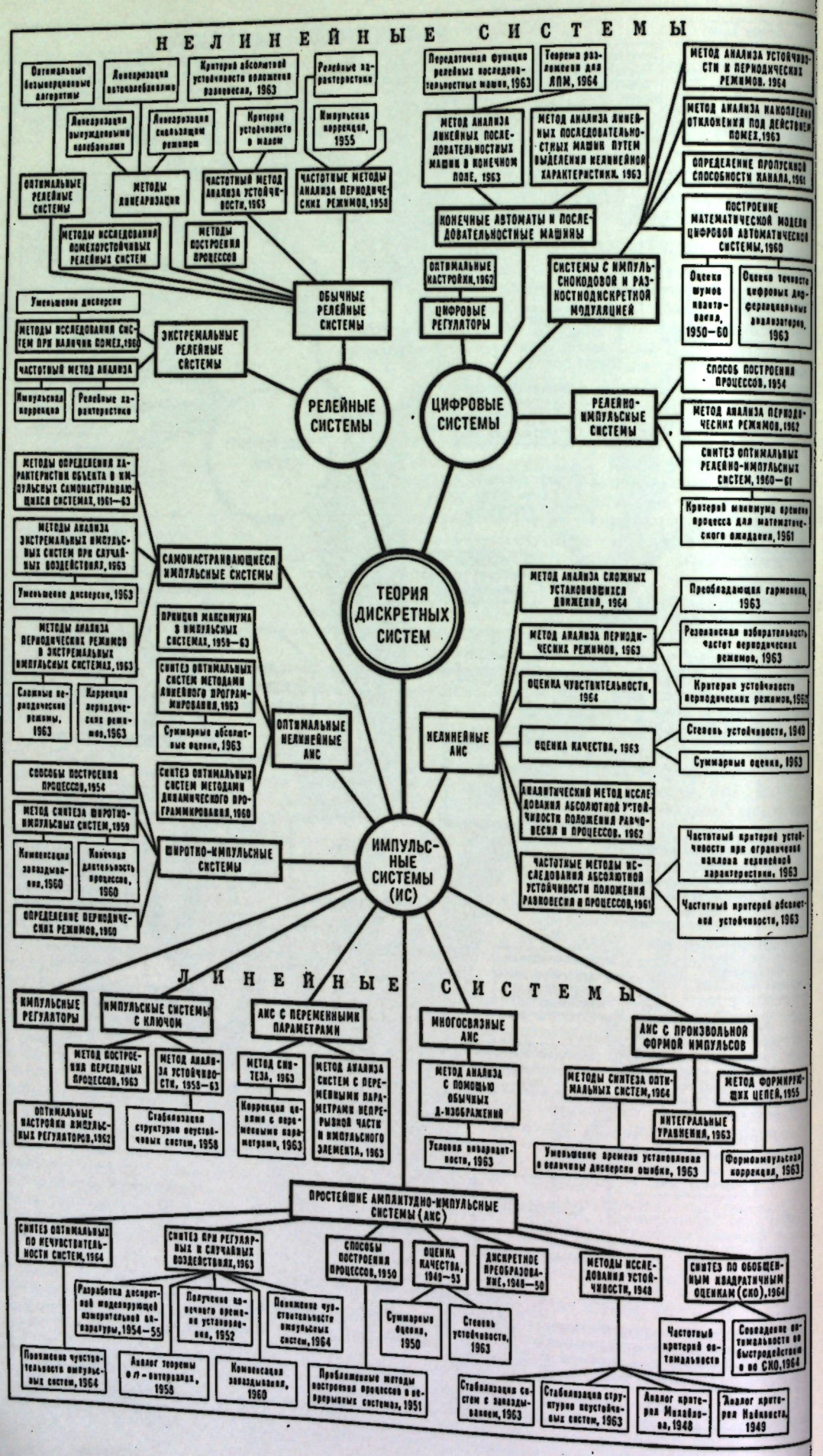
Если к САР, помимо полезного входного воздействия, приложены и возмущающие воздействия или помехи случайного флуктуац. характера, то ошибка состоит из двух составляющих. Одна из них определяется тем, что система не может точно следовать за управляющим воздействием, другая — тем, что она реагирует на возмущающие воздействия. Т. о., возникает задача синтеза такой оптимальной САР, в к-рой сумма обеих составляющих ошибки имела бы минимально возможное значение. Наиболее распространен синтез оптимальных САР из условия минимума среднеквадратич. ошибки.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 3 изд., М., 1962; Мееров М. В., Синтез структур систем автоматического регулирования высокой точности, М., 1959.

Б. И. Андрейчиков.

ТОЧНОСТЬ СТАТИЧЕСКАЯ САР (static accuracy; précision statique; statische Genauigkeit) — характеризуется установившимся значением ошибки. Т. с.— один из осн. показателей качества процесса регулирования. Она определяется в основном *точностью* действия отд. звеньев. Чем меньше влияние сил сухого трения, зазоров, мертвых ходов, величин небаланса звеньев, тем выше Т. с. системы





регулирования. С увеличением нагрузки Т. с., как правило, уменьшается. При расчете САР задается требование на Т. с.: регулируемая координата не должна иметь установившуюся ошибку выше нек-рого допустимого значения Δ, т. е. $|x^*-x(\infty)|\leqslant\Delta$, где x^* — заданное значение регулируемой величины, $x(\infty)=\lim_{t\to\infty}(x)t$.

В случае статич. системы Т. с. определяется по отклонению регулируемой величины при пост. внешнем воздействии $f(t)=f_0=\text{const}$ (рис. 1). Для астатич. системы с астатизмом первого порядка точность может быть определена при воздействии вида: $f(t)=At$ (рис. 2).

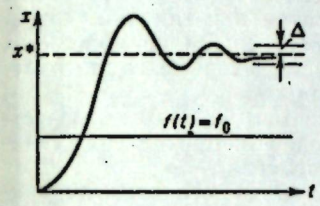


Рис. 1.

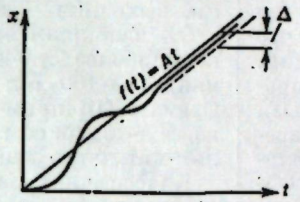


Рис. 2.

Т. с. систем регулирования тем выше, чем больше общий коэфф. усиления системы.

Лит.: Мееров М. В., Введение в динамику автоматического регулирования электрических машин, М., 1956; Фельдбаум А. А., Электрические системы автоматического регулирования, 2 изд., М., 1957.

Д. П. Петелин.

ТОЧНОСТЬ ЦВМ (accuracy of digital computer; précision d'une colenbotrice numerique; Genauigkeit eines Digitalrechners) —характеризуется величиной макс. погрешности результата вычислений. Погрешность (точность) вычислений зависит от: а) абс. погрешности приближ. представления исходных физ. величин или точности представления (изображения) вводимых в машину числовых данных (чем больше верных значащих разрядов в исходных данных, тем меньше абс. погрешность представления и выше точность); б) принятого метода вычислений, к-рый определяет макс. длину цепочки последоват. этапов счета; в) способа выполнения арифметич. операций, поскольку результаты нек-рых операций (умножение, деление, извлечение квадратного корня) округляются до фиксиров. числа значащих разрядов, т. е. вносится ошибка округления. Из двух способов представления чисел в машине — с плавающей и фиксиров. запятой, первый обеспечивает больший диапазон представления чисел. При этом все нормализов. числа представляют с одинаковой относит. точностью (отношение абс. погрешности к самому значению величины). В машинах с фиксиров. запятой меньшие числа представляются с меньшей относит. точностью. Для обеспечения требуемого диапазона представления чисел при операциях с фиксиров. запятой производится подбор масштабов для переменных, входящих в задачу. Однако с увеличением масштаба к.-л. величины точность ее представления в машине будет уменьшаться. При операциях сложения и вычитания с фиксиров. запятой потери точности не происходит; в машинах с плавающей запятой за счет выравнивания порядков и последующей нормализации ошибка при сложении и вычитании может достигать значит. величины. Для округления результатов операций в сумматорах машин обычно предусматривается дополнит. младший разряд, в к-рый добавляется половина основания системы счисления (5 — в десятичной, 1 — в двоичной и т. д.), при этом ошибка становится знакопеременной и не будет превышать половины единицы последнего разряда. Но поскольку исходные числа претерпевают длинный ряд последоват. преобразований, происходит накопление ошибок округления. Поэтому для компенсации суммарной ошибки округления следует иметь нек-рое число дополнит. разрядов, чтобы количество значащих цифр результатов промежуточных вычислений превосходило разрядность вводимых в машину данных. Считают [3], что для того, чтобы обеспечить сохранение точности результата в единицу младшего значащего разряда, с вероятностью 0,9 должно выполняться неравенство $n\leqslant 3a^{2m}$, где n — длина цепочки операций, a — число разрядов исходных чисел, m — количество дополнит. разрядов. Если оказывается, что погрешность вычислений превышает допустимую, повышение точности может производиться за счет изменения метода вычислений (увеличение числа итераций и т. д.) или введения операций с числами увеличенной разрядности.

Лит.: 1) Современная математика для инженеров, пер. с англ., М., 1958; 2) Кринецкий Н. А., Миронов Г. А., Фролов Г. Д., Программирование, М., 1963; 3) Глушков В. М., Ющенко Е. Л., Вычислительная машина «Киев», Киев, 1962.

Г. Б. Смирнов.

ТРАВЛЕНИЕ (etching; attaque chimique; Ätzung) — хим. или электрохим. обработка поверхности твердого тела (напр., ПП) с целью: очистки от примесей; придания нужных св-в, размеров или форм; выявления макро- и микродефектов или кристаллографич. направленности. При механич. обработке монокристаллов *германия*, *кремния* и *полупроводниковых соединений* в поверхностном слое возникают *дефекты кристалла*, к-рые создают уровни, оказывающие влияние на электрич. хар-ки этих ПП. Увеличение дефектов приводит к возрастанию *скорости поверхностной рекомбинации*, т. е. к уменьшению эффективного *времени жизни носителей заряда* (неосновных), связанного с параметрами ПП приборов. Резка и шлифовка монокристалла создают поликристаллич. или аморфный слой. Из этого вытекает необходимость удаления с поверхности различных несовершенств и посторонних примесей. Это достигается Т. поверхности ПП в жидкой или газообразной среде. Первое по существу есть процесс растворения. Чаще всего Т. проводят в водном растворе хим. реагентов (окислителе и растворителе окисла). Скорость растворения поверхности может зависеть от ее кристаллографич. направленности (см. *Ориентация кристалла*). Если кристалл находится нек-рое время в растворителе, то его поверхность покрывается мелкими многогранными углублениями — фигурами (ямками) Т. Образование фигур Т. используется в оптич. методе определения ориентации поверхности.

Реакции, протекающие при хим. Т. германия в водном растворе, могут быть представлены в след. упрощенном виде:

$$Ge \xrightarrow{(O)} GeO \xrightarrow{(O)} GeO_2$$

$$GeO_2+6HF \longrightarrow GeF_6^{--}+2H_2O+2H^+$$

$$GeO_2+2OH^- \longrightarrow GeO_3^{--}+H_2O.$$

Источником кислорода служит азотная к-та или перекись водорода. Для растворения окисла GeO_2 при обычном Т. применяется концентрированная плавиковая к-та или щелочь (10—20%-ная). Для Т. германия чаще всего используются пергидрольный травитель: 1 *см*³ HF, 1 *см*³ (30%-ной H_2O_2), 4 *см*³ H_2O и травитель СР-4: 15 *см*³ CH_3COOH (ледяная), 25 *см*³ HNO_3 (концентрированная), 15 *см*³ HF (концентрированная), 0,3 *см*³ Br_2.

Примеси в германии влияют на скорость Т. Растворение германия и кремния в СР-4, СР-8 (смесь HNO_3 с HF при отношении 2 : 1), СР-6 (содержание плавиковой к-ты на 33% выше, чем у СР-4), СР-4А (то же, что СР-4, но без Br_2) является электрохим. процессом. На катодных микроучастках происходит восстановление окислителя (HNO_3), а на анодных растворяемый материал переходит в раствор. Окислитель, восстанавливаясь на ПП, захватывает электроны. Образующиеся дырки расходуются на растворение ПП. Для Т. кремния, кроме перечисленных растворителей, используется смесь азотной и плавиковой к-т с добавкой азотнокислой ртути.

Для травления *электронно-дырочных переходов* применяют те же травители, что и для ПП материалов.

В ПП технике находит также применение электролитич. травление — анодное (напр., в 10%-ной щелочи) и катодное (в кислотах) при большой плотности тока. Скорость анодного Т. зависит от концентрации дырок на поверхности. Для ускорения анодного Т. ПП *n*-типа его освещают или осуществляют инжекцию дырок.

Т. германия можно проводить методом катодного распыления или в CO_2 при повышенной темп-ре, т. к. образующийся окисел германия при этом улетучивается. Т. всегда начинается в местах несовершенств — выхода дислокаций на поверхность (места скоплений напряжений, примесей и царапин).

Лит.: Файнштейн С. М., Роль состояния поверхности в производстве полупроводниковых приборов, М.—Л., 1961.

С. М. Файнштейн.

ТРАНЗИСТОР (transistor; transistor; Transistor) — электропреобразоват. ПП прибор с электронно-дырочными переходами и тремя (или более) выводами. Т. может иметь *p—n—p-* или *n—p—n*-структуру с двумя *p—n*-переходами —эмиттерным и коллекторным, разделенными тонкой (~неск. *мк*) базой—управляющим электродом (под структурой понимается система различных по типу *электропроводности* областей ПП, обеспечивающая выполнение ПП прибором его ф-ций). В Т. используется принцип управления потоком носителей заряда в *полупроводнике* при напряжении 0,1—1 *в*, прикладываемом к прямо смещенному эмиттерному *p—n*-переходу. При этом, в отличие от электронной лампы, Т. потребляет ток (мощность) во входной цепи. Промодулированный входным сигналом поток носителей заряда от эмиттерного перехода почти полностью (за вычетом потерь на рекомбинацию в базовой области, составляющих 1—5%) проходит через область базы и достигает обратно смещенного (напряжением в неск. десятков *в*) коллекторного перехода. При этом мощность выходного сигнала, выделяемая в нагрузке, во много раз превышает мощность, затрачиваемую входным сигналом для управления током эмиттера.

Эквивалентная схема Т.— активный четырехполюсник. В зависимости от того, какой из электродов — эмиттер, база, коллектор — служит общим для входной и выходной цепей, различают схемы включения Т. с общим эмиттером (ОЭ), общей базой (ОБ), общим коллектором (ОК). Схема с ОЭ, наиболее широко распространенная, дает наибольшее усиление по мощности (30—50 *дб*), но наименее стабильна — требуются спец. схемные решения для стабилизации рабочей точки в нек-ром интервале темп-р; входные сопротивления (на НЧ) в схеме с ОЭ ~100 *ом*, выходные — десятки и сотни *ком*. Схема с ОБ дает наименьшее усиление по мощности, но наиболее стабильна; входные сопротивления: 10—100 *ом*; выходные — неск. *Мом*. Схема с ОК применяется редко, преимущество ее — высокое входное сопротивление (аналог катодного повторителя).

Классифицируются Т. в основном по максим. мощности, рассеиваемой на коллекторе $P_к$ и предельной рабочей частоте $f_α$ (см. *Транзистора параметры*).

Технологич. методы изготовления в разной степени позволяют совместить в Т. предельные величины основных параметров. Удалось создать маломощные Т. с $P_к \simeq 0{,}1$ *вт* и $f_α \simeq 5$ *Гц*; Т. средней мощности с $P_к \simeq 1$ *вт* и $f_α \simeq 1$ *Гц* и мощные Т. с $P_к \simeq 1000$ *вт* и $f_α \simeq 20$ *Мгц*. Т. изготавливают на основе *германия*, *кремния*, арсенида галлия и др. *полупроводниковых соединений* типа $A^{III}B^{V}$. Наибольшее развитие получили Т. на основе Ge и Si, причем первые более высокочастотны, чем вторые, однако последние имеют более высокие рабочие темп-ры. Основные технологич. методы изготовления Т. (рис. 1): сплавления, диффузии, вытягивания из расплава, электрохимический и различные их комбинации.

Сплавной метод применяется для изготовления массовых типов германиевых маломощных и мощных Т. (для кремниевых Т. применяется редко). Главной операцией этого метода служит кассетное вплавление электродов (преимущественно из сплавов на основе индия) в водородных конвейерных печах при темп-ре 560—600° С для образования эмиттерного и коллекторного *p—n*-переходов. Ограничение этого метода — трудность совмещения высоких значений параметров: предельной частоты усиления по току $f_α$, напряжение между коллектором и эмиттером $U_{кэ}$, нулевого тока коллектора $I_{ко}$, тока коллектора $I_к$. Каждый из них достигается при противоречивых требованиях к качеству исходного кристалла ПП и геометрии структуры Т. Так, напр., $f_α$ растет с уменьшением толщины базы, но резко падает $U_{кэ}$; последнее, кроме того, тем больше, чем выше уд. сопротивление исходного кристалла, а это, в свою очередь, резко ухудшает температурные характеристики Т.— увеличивается значение $I_{ко}$ и т. д. Сплавным методом изготовляют Т. (гл. обр. с *p—n—p*-структурой): маломощные германиевые с $f_α = 0{,}1$—10 *Мгц*, $U_{кэ} \leqslant 100$ *в*, $I_к \leqslant 1$ *а*, $I_{ко} = 10$—100 *мка* и мощные германиевые с $f_α = 100$—500 *Кгц*, $U_{кэ} \leqslant 60$ *в*, $I_к \leqslant 30$ *а*, $I_{ко} = 1$—10 *ма*. Конструкции сплавных Т. показаны на рис. 2.

Германиевых ВЧ Т. (с $f_α \leqslant 500$ *Мгц*) получают комбинированным диффузионно-сплавным методом, при к-ром коллекторный *p—n*-переход создается путем диффузии примесей (напр., сурьмы) в исходный кристалл германия в водородных печах при темп-ре 650—700° С, а база и эмиттерный *p—n*-переход создаются приплавлением к кристаллу германия с диффузионным коллекторным *p—n*-переходом электродных шариков (из сплавов на основе индия, галлия, висмута, сурьмы и др.), при этом область базы получается толщиной до 1 *мк*. (Подробнее см. *Транзистор дрейфовый*). Изготовляемые этим методом германиевые маломощные Т. с *p—n—p*-структурой имеют параметры: $f_α = 100$—500 *Мгц*, $P_к = 150$ *мвт*, $U_{кэ} = 10$—20 *в*, $I_к = 50$—100 *ма*, $I_{ко} = 5$—10 *мка*.

Более высоких предельных частот в Т. на основе германия и кремния добиваются с применением т. н. диффузионной планарной технологии. Она включает след. осн. операции: термич. окисление пластин кремния в атмосфере влажного кислорода при темп-ре 1000° С для получения маскирующего слоя окисла; применение методов *фотолитографии* и локальной диффузии соответствующих примесей для получения *p—n*-перехода. Контакты к электродам планарных Т. создают напылением в вакууме металлич. пленок. Преимущества такой технологии: универсальность, позволяющая на одном и том же оборудовании, пользуясь сменными комплектами фотошаблонов, изготавливать самые различные по параметрам типы Т.; групповой характер технологич. процесса, позволяющий изготовлять одновременно до 1000 шт. структур Т. на одной пластине и получать незначит. разброс параметров; существенно меньшие величины неконтролируемых обратных токов и лучшая стабильность параметров, являющиеся результатом защиты *p—n*-переходов слоем окисла. Планарная технология требует, однако, исключительно высокой точности проведения операций и поддержания режимов. Напр., поддержание темп-ры в печах на уровне св. 1000° С с точностью ±0,5° С; точность совмещения последоват. фотошаблонов должна быть не хуже +1 *мк* и менее, величина нарушенного при механич. обработке слоя исходных пластин не должна превышать 0,1 *мк*, и др. С помощью этой технологии изготавливают кремниевые маломощные Т., отдающие в нагрузку мощность порядка 1 *вт* на частоте 500 *Мгц* и мощные Т. с предельной частотой неск. десятков *Мгц*, мощностью неск. сотен *вт*, напряжением неск. сотен *в* и токами неск. десятков *а*. Кроме того, этим методом, особенно в кремниевых *Т.*, удается совмещать оптим. значения параметров $f_α$, $U_{кэ}$, $I_к$, $I_{ко}$.

Основные недостатки Т.: огранич. температурный интервал работы и сильная температурная зависимость всех параметров (кремниевые Т. работают при темп-рах $\leqslant +175$°С, германиевые $\leqslant +85$°С). Наиболее чувствителен к темп-ре ток утечки коллектора $I_{ко}$, возрастающий примерно вдвое на каждые 10° С повышения темп-ры; коэфф. усиления меняется в 3—4 раза в интервале $-60 \div +150$° С для кремниевых Т. и $-60 \div +70$° С для германиевых. Нестабильность, однако, может быть в сильной степени уменьшена выбором правильного схемного решения — введением отрицат. обратных связей, стабилизирующих термисторов и т. п.

Т. могут применяться в тех же схемах — усилительных, генераторных, импульсных,— что и электронные лампы, однако наличие Т. двух типов проводимости (*p—n—p* и *n—p—n*) позволяет создавать и оригинальные схемы,

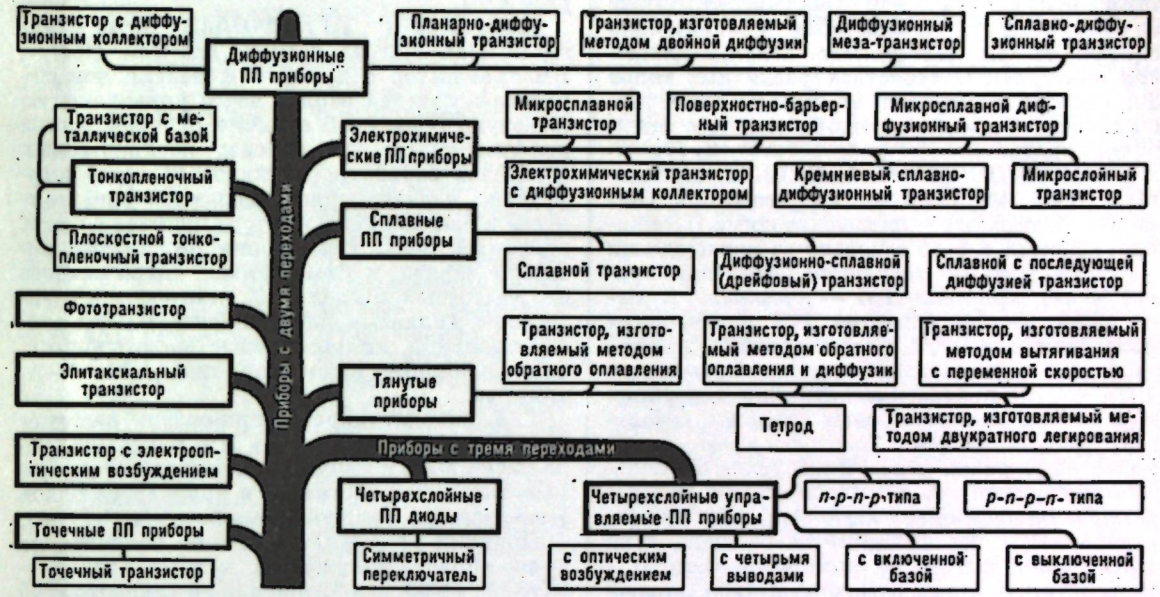


Рис. 1. Схема классификации транзисторов по структурам и технологич. методам изготовления.

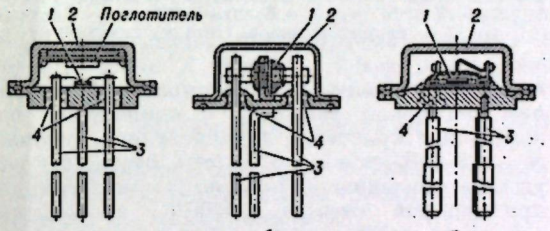


Рис. 2. Конструкции сплавных транзисторов: *а* — маломощный (холодносварная конструкция); *б* — маломощный (горячесварная конструкция); *в* — мощный (холодносварная конструкция); *1*—ПП — кристалл; *2* — корпус; *3* — электроды; *4*—изоляторы.

не имеющие аналогов в ламповом варианте. Кроме того, габариты и потребление мощности у Т. значительно меньше, чем у электронных ламп, а надежность Т. характеризуется частотой отказов 10^{-6}—10^{-7} *отк/час*, что также служит лучшим показателем сравнительно с лампами (см. *Надежность полупроводниковых приборов*). О свойствах различных типов Т., методах измерения их параметров и др. сведения о Т. см. в соответствующих статьях энциклопедии. *А. М. Шутов.*

ТРАНЗИСТОР ГЕРМАНИЕВЫЙ (germanium transistor; transistor au germanium; Germaniumtransistor) —трехэлектродный ПП прибор, действие к-рого основано на прохождении электрич. тока (на инжекции носителей заряда) через кристалл ПП — *германия*. В начальный период развития ПП электроники разрабатывались Т. г. с точечными контактами (металлич. электродов с кристаллом ПП), к-рые предназначались для генерации и усиления низкочастотных сигналов небольших мощностей (см. *Транзистор точечный*). Затем были разработаны и выпускаются большими сериями Т. г. плоскостного типа (с *электронно-дырочными переходами* внутри кристалла ПП), рассчитанные на большие токи (сотни *ма* и выше), на различные частоты и мощности. Для иллюстрации в табл. приведены хар-ки усиления и основные назначения нек-рых типов Т. г.

Тип	Коэфф. усиления по току	Предельная частота усиления	Основные назначения
П1А	—	100 *кгц*	Усиление электрич. сигналов (коэфф. усиления по мощности 30 *дб*)
П3А	2 ($U_к$=−10 *в*, $I_к$=150 *ма*, f=1 *кгц*)	Звуковая частота	Усиление мощности (коэфф. усиления по мощности ⩾17 *дб*)
П4Б, П4В	15—40	То же	Работа в схемах переключения, выходных каскадах усилителей звуковых частот и преобразователях пост. напряжения (коэфф. усиления по мощности ⩾23).
П8	⩾10 (f=1 *кгц*)	0,5 *Мгц*	Усиление НЧ и ПЧ в схемах переключения и импульсных
П12	⩾20 ($U_к$=−6 *в*, $I_э$=1 *ма*, f=1 *кгц*)	5 *Мгц*	Усиление и генерирование колебаний ВЧ
П16	20—35 ($U_к$=−1 *в*, $I_к$=10 *ма*)	⩾1 *Мгц*	Работа в схемах переключения и триггерных
П22	⩾1,2 ($U_к$=−30 *в*, $I_э$=1 *ма*)	⩾1 *Мгц*	Генерирование электрич. колебаний спец. формы, работа в импульсных схемах
П101	9—20 ($U_к$=5 *в*, $I_э$=1 *ма*, f=1 *кгц*)	В диапазоне звуковых частот до 1 *Мгц*	Работа в схемах усиления переключения

($U_к$ — напряжение на коллекторе; $I_к$ — ток коллектора; $I_э$ — ток эмиттера; f — частота)

Параметры, описание конструкций, о технологии изготовления Т. г. см. *Транзистор, Транзистор дрейфовый, Транзистора параметры, Транзистора методы измерения параметров.*

ТРАНЗИСТОР ДРЕЙФОВЫЙ (drift transistor; transistor de dérive; Trifttransistor) — ВЧ транзистор с дрейфовым механизмом переноса носителей заряда через управляющую (базовую) область. В отличие от транзистора диффузионного, где перенос неравновесных носителей заряда осуществляется лишь диффузией, неравномерное распределение примесей в базовой области этого прибора создает дрейфовое поле, ускоряющее неосновные носители заряда и тем самым поднимающее его частотный предел. К Т. д. относятся транзисторы: сплавные диффузионные, диффузионные сплавные, микросплавные диффузионные, меза-планарные, планарные, типа p—n—i—p, тянутые.

Т. д. находят широкое применение как усилители и генераторы НЧ, ПЧ и ВЧ (вплоть до тысяч *Мгц*) в импульсной технике, в счетно-решающих устройствах и в аппаратуре связи (телевизорах, радиоприемниках и т. д.).

Принцип работы Т. д. можно пояснить на транзисторе, полученном методом одновременной диффузии донорной и акцепторной примеси в монокристалл ПП, легированный акцепторной примесью (рис. 1). Для определенности представим, что монокристалл германия легирован галлием с одинаковой по всей длине кристалла концентрацией, равной $N_a = 5\cdot10^{15}$ атомов·*см*$^{-3}$ (что соответствует уд.сопротивлению $\rho\approx1$ *ом·см*). В монокристалл при нек-рой темп-ре (~700°С) проводится одноврем. диффузия из сплава сурьмы и галлия, находящегося на поверхности монокристалла, причем начальная концентрация акцепторной примеси (Ga) $N_{a0}\sim5\cdot10^{18}$ *см*$^{-3}$, а донорной (Sb) $N_{d0}\sim3\cdot10^{17}$ *см*$^{-3}$. Т. к. коэфф. диффузии сурьмы в Ge значительно больше, чем в Ga, то по истечении нек-рого времени t получится структура (рис. 2) транзистора с сильно легированным эмиттером и убывающей концентрацией в области базы. Убывающая концентрация атомов примеси создает электрич. поле $E_{др}$, ускоряющее дырки от эмиттера к коллектору. Из описанного ясно, что все электрич. параметры Т. д. определяются распределением активных примесей, т. е. величинами концентраций примесей N_a, N_{a0}, N_{d0} временем проведения процесса диффузии и его темп-рой. Т. о., меняя концентрации примесей и режим диффузии, можно управлять значениями предельной частоты коэфф. усиления по току f_α, активного сопротивления базовой области $r'_б$, емкостей переходов $C_э$, $C_к$, предельно допустимых напряжений на переходах. Главное отличие расчета параметров Т. д. от диффузионного заключается в том, что распределение электрически активных примесей в области базы выражается ф-цией

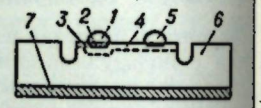


Рис. 1. Структура сплавного дрейфового транзистора: *1* — эмиттерный сплав (InGaSb); *2*— рекристаллизов. слой эмиттера (p+); *3* — диффузионный базовый слой (дрейфовое поле); *4* — соединит. диффузионный слой (n); *5* — базовый сплав; *6* — исходный Ge; *7* — рекристаллизов. слой коллектора (p+).

$$N(x)=N_0\left(1-\operatorname{erf}\frac{x}{2\sqrt{Dt}}\right), \qquad (1)$$

дающей усложнение расчета (здесь N_0 — концентрация примеси на границе эмиттер — база, из которого производится диффузия, координата x отсчитывается от этой границы; $\operatorname{erf} y=\frac{2}{\sqrt{\pi}}\int_0^y\exp(-t^2)dt$).

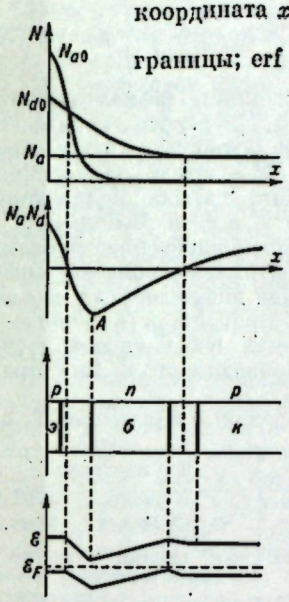


Рис. 2. Распределение примесей и энергетич. диаграмма зон в структуре дрейфового транзистора: ε_F — энергия уровня Ферми.

Особого внимания заслуживают параметры, характеризующие частотные свойства Т. д. Дрейф носителей через базовую область вследствие действующего там поля уменьшает пролетное время и, следовательно, диффузионное размытие импульса. Известно, что в базовой области распределение примесей хорошо апроксимируется законом:

$$N(x)=N_{d0}\exp(-a_d x), \qquad (2)$$

где

$$a_d=\frac{1}{2\sqrt{Dt}},$$

N_{d0} — наивысшая концентрация примеси в базе (в точке A рис. 2). Тогда однородное поле в базе

$$E_{др}=a_d\,kT/q\approx300\ в/см \qquad (3)$$

(при комнатной темп-ре для транзистора типа П403), где k — постоянная Больцмана, T — темп-ра, q— заряд электрона.

Предельная частота коэфф. усиления по току f_α у рассматриваемых Т. д. ограничивается или пролетным временем через базу τ или влиянием постоянной времени эмиттерной цепи $r_э C_э$. С учетом зависимости подвижности носителей заряда от концентрации примесей

$$f_\alpha=0{,}3/\pi\sqrt{I}, \qquad (4)$$

где

$$I=\frac{1}{a_d^4}\left[A_1^2\left(\ln\frac{N_{d0}}{N_a}-2{,}5\right)+A_1\frac{N_{d0}}{2}(A_2-A_3\ln2N_{d0})+\frac{N_{d0}}{24}(A_2-A_3\ln2N_{d0})^2\right];$$

$$A_1=1{,}32\cdot10^{-5}T^{1,3},\quad A_2=\frac{4\ln(3{,}4\cdot10^4T)}{10^{14}T^{5/2}},\quad A_3=\frac{1{,}3}{10^{14}T^{5/2}},$$

что хорошо совпадает с измерениями. Эта ф-ла учитывает зависимость f_α от темп-ры через посредство подвижности (рис. 3).

Активное сопротивление базы $r'_б$ определяет постоянную времени коллекторной цепи $r'_б C_к$ (рис. 4). Для уменьшения $r'_б$ необходимо уменьшать уд. сопротивление базы, но это ведет к увеличению емкости коллектора и снижает подвижность. Неравномерное распределение примеси, полученное диффузией, в значит. мере устраняет противоречие: перепад концентраций, определяющий дрейфовый потенциал, получается достаточно большим (100), среднее уд. сопротивление базы достаточно низким (~0,03 *ом·см*), а т. к. у коллектора концентрация примеси спадает до 10^{16}—10^{15} *см*$^{-3}$, то емкость коллекторного перехода может быть доведена до единиц и долей *пф*. Ф-ла для средней проводимости материала базы $\bar{\sigma}$ имеет громоздкий вид (см. *лит.*). Связь между $r'_б$ и $\bar{\sigma}$ носит скорее корреляционный, чем функцион. характер, но для грубых оценок можно пользоваться след. простыми соотношениями. Для транзисторов, где отвод тока от базы осуществляется в одну сторону

$$r'_б=1/4\,\bar{\sigma}w, \qquad (5)$$

для транзисторов с кольцевым отводом

$$r'_б=1/4\,\pi\bar{\sigma}w, \qquad (6)$$

где w — толщина базы. На рис. 5 и 6 даны зависимости: экспериментальная $r'_б=f(T°)$ и расчетная $\bar{\rho}_б=f(T°)$.

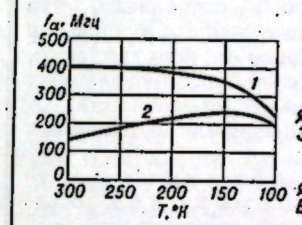


Рис. 3.

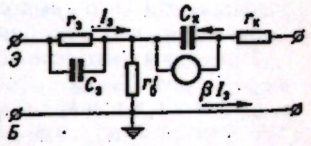


Рис. 4.

Рис. 3. Зависимость предельной частоты коэфф. усиления по току f_α от темп-ры, рассчитанная для дрейфового (*1*) и бездрейфового (*2*) транзисторов.

Рис. 4. Эквивалентная схема дрейфового транзистора: *Э* — эмиттер; *Б* — база; $r_э$ — сопротивление эмиттера; $C_э$ — емкость эмиттера; $I_э$ — ток эмиттера; $r'_б$ — активные сопротивления базы; $C_к$ — емкость коллектора; $r_к$ — сопротивление коллектора; β — коэфф. усиления по току транзистора с общей базой.

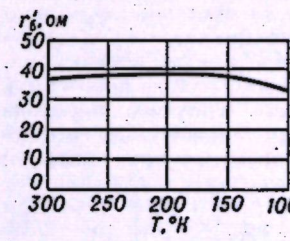


Рис. 5.

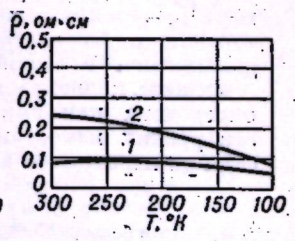


Рис. 6.

Рис. 5. Эксперимент. зависимость сопротивления базы от темп-ры.

Рис. 6. Зависимость среднего (поперечного) уд. сопротивления базы от темп-ры, рассчитанная для (2 образцов) дрейфовых транзисторов.

Из эквивалентной схемы Т. д. видно, что основными параметрами на ВЧ служат: коэфф. усиления по току, емкости эмиттера и коллектора, внутр. сопротивления в цепи базы и коллектора. Для большинства Т. д. характерно наличие распределенного сопротивления коллектора. Установлено, что ВЧ свойства Т. д. существенно улучшаются при повышении предельной частоты усиления, уменьшении его емкостей, распределенных базовых и коллекторных сопротивлений.

Приводим нек-рые сведения об основных параметрах Т. д.

Допустимые обратные напряжения на переходах ограничиваются возможностью электрич. пробоя, к-рый для широкого коллекторного перехода всегда носит характер *лавинного пробоя*, для узкого же эмиттерного перехода, в зависимости от его ширины и характера распределения примесей в нем, возможен как лавинный пробой, так и *зинеровский пробой*. Зная характер распределения примесей в переходе и, тем самым, зная распределение электрич. поля в нем, пользуясь критериями пробоя, можно найти предельно допустимые напряжения на переходах. Из-за сложного характера распределения примесей задача решается лишь графически. Из-за высоких концентраций примесей в области эмиттерного перехода ($N \gtrsim 10^{18}$ атомов·$см^{-3}$) при обратных смещениях на нем возникают большие поля, приводящие к пробою. Поэтому, как правило, допустимые обратные напряжения эмиттерного перехода Т. д. меньше, чем у транзисторов сплавных (диффузионных). В то же время снижение концентраций примесей для получения больших напряжений ведет к уменьшению дрейфового потенциала и, следовательно, к уменьшению предельной частоты. Компромиссное решение задачи приводит, напр., для германиевых транзисторов типа П416 к сочетанию параметров: $f_\alpha \gtrsim 200$ *Мгц* и $U_{эпр} \gtrsim 4$ *в*. При тонкой базе ($\sim 1-2$ *мк*) не исключено смыкание переходов. Т. д., имеющий высокие концентрации примесей, в этом отношении также предпочтительнее диффузионного.

Для определения емкостей переходов также необходимо знать детальное распределение поля в области перехода. Однако без заметной ошибки зарядные емкости переходов можно находить по ф-ле для определения емкости сплавного (диффузионного) транзистора с резким переходом (т. к. ширина эмиттерного перехода достаточно мала):

$$C_{э\ барьери} = A_э \left[\frac{\varepsilon\varepsilon_0 q N_{d_0}}{2(\varphi_к - U_э)}\right]^{1/2}, \qquad (7)$$

где $U_э$ — напряжение на эмиттере; $\varphi_к$ — контактная разность потенциалов; ε и ε_0 — диэлектрич. постоянные среды и вакуума.

Емкость коллекторного перехода может быть определена как емкость тянутого перехода без резких изменений концентрации примесей при переходе от p- к n-типу проводимости:

$$C_{к\ барьери} = A_к \left[\frac{\varepsilon^2 \varepsilon_0^2 q^2 a_d}{12(\varphi_к - U_к)}\right]^{1/3}, \qquad (8)$$

где $U_к$ — напряжение на коллекторе.

Т. к. при изменении тока заряды в Т. д. перестраиваются в значительно меньшей степени, чем в бездрейфовом (это определяется наличием поля в базе), то диффузионные емкости в Т. д. значительно меньше, чем в бездрейфовых.

Коэффициент усиления (передачи) дрейфовых транзисторов на НЧ

$$\alpha_0 \approx \gamma_0 \beta_0 \alpha^* M = \left(1 - \frac{R_{бп}}{R_{эп}}\right)\left(1 - \frac{w}{a_d L_б^2}\right) \times \left(1 + \frac{\sigma_н}{\sigma_к}\right)\left[1 + \left(\frac{U_к}{U_{пр}}\right)^n\right], \qquad (9)$$

где γ_0 — коэфф. инжекции (эффективность эмиттера); β_0 — коэфф. переноса носителей через базу; α^* — коэфф. умножения носителей в объеме коллектора; M — коэфф. умножения в области пространств. заряда коллектора (γ_0, β_0 всегда меньше 1, а α^* и M больше 1); $R_{бп}$ — поперечное сопротивление области базы; $R_{эп}$ — поперечное сопротивление области эмиттера; $L_б$ — эффективная диффузионная длина в области базы; $\sigma_н$ — проводимость в объеме коллектора, создаваемая неосновными носителями заряда; $\sigma_к$ — проводимость коллектора; $n = 3-4$.

В табл. даются предельные параметры Т. д.

Параметр	Его значения
Предельная частота, f_α	от 10 до неск. тысяч *Мгц*
Время переключения, $\tau_{пер}$	от единиц *нсек* до неск. *мсек*
Коэфф. усиления по току, B	от единиц до неск. сотен
Мощность рассеяния, $P_к$	от 20 *мвт* до неск. десятков *вт*
Рабочий ток, $I_к$	от неск. *мка* до десятков *а*
Рабочее напряжение на коллекторе, $U_к$	от долей до неск. сотен *в*
Рабочее напряжение на эмиттере, $U_э$	от долей до неск. *в*
Емкость коллектора, $C_к$	от долей до неск. сотен *пф*
Емкость эмиттера, $C_э$	от единиц до неск. сотен *пф*
$r'_б \cdot C_к$	от единиц до тысяч *псек*
Остаточное напряжение в режиме насыщения, $U_{кэн}$	от тысячных долей до неск. *в*
Максим. темп-ра корпуса транзистора	от 45° до 120° С
Миним. темп-ра корпуса транзистора	от —20° до —60° С
Обратный коллекторный ток, $I_{ко}$	от долей *на* до неск. *ма*
Обратный эмиттерный ток, $I_{эо}$	от долей *на* до неск. *ма*

Приведенные сведения иллюстрируют преимущества Т. д.— сочетание ВЧ, коллекторных напряжений и токов с малыми величинами емкостей и базовых сопротивлений. Широкий диапазон электрич. хар-к также выгодно отличает их по сравнению, напр., с диффузионными (сплавными) транзисторами. Недостатки Т. д.: относительно малые величины рабочих эмиттерных напряжений и большая величина распределенного сопротивления коллектора (при усовершенствовании технологии могут быть сведены к минимуму).

В СССР и за рубежом выпускается ряд типов германиевых и кремниевых Т. д. Первые отличаются высоким f_α, B и относительно простой технологией, вторые имеют более высокие предельные темп-ры и значительно меньшие обратные токи.

Т. д. удобно классифицировать по методу изготовления и структуре. Характерна для всех способов диффузия донорной или акцепторной примеси в ПП при темп-рах >600°С.

Наиболее простой и не требующий сложного оборудования сплавной диффузионный метод, используемый в основном для германиевых Т. д., позволяет получать приборы с резким эмиттерным и плавным коллекторным переходами, при этом толстый рекристаллизованный слой эмиттера обеспечивает его высокую эффективность и устойчивость к электрич. перегрузкам (структура сплавного диффузионного Т. д. дана на рис. 1). Типичные сплавные диффузионные Т. д.: П401—П403, П414—П418, 1Т308 (маломощные) и П605, П609 (средней мощности), а также ОС170—ОС171, AF114—AF116, AF139 (зарубежные, маломощные).

Диффузионный сплавной метод также используется в основном для германиевых и кремниевых Т. д. и отличается от сплавного диффузионного тем, что базовая и эмиттерная области получаются двумя последоват. процессами: напр., базовая — диффузией акцепторной примеси, а эмиттерная — последующим вплавлением электрода, содержащего донорную примесь (рис. 7). У этого типа Т. д. (П419) относительно большой разброс параметров.

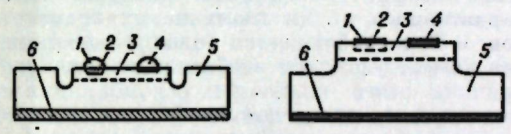


Рис. 7.

Рис. 8.

Рис. 7. Структура диффузионного сплавного транзистора: *1* — эмиттерный сплав (PbSnAs); *2* — рекристаллизов. слой эмиттера (n+); *3* — диффузионный базовый слой (p+); *4* — базовый сплав; *5* — исходный Ge или $_n$-Si; *6* — рекристаллизов. слой коллектора (n+).

Рис. 8. Структура меза-планарного транзистора, изготовленного методом двойной диффузии: *1* — электрод эмиттера; *2* — диффузионный слой эмиттера (n+); *3* — диффузионный слой базы (p+); *4* — электрод базы; *5* — исходный $_n$-Ge; *6* — электрод коллектора.

Диффузионный сплавной метод с использованием вакуумного распыления электродных материалов позволяет изготовлять *транзисторы-меза*. Типичные Т. д. этой группы: 2N1141, 2N1195, 2N697 (США).

Микросплавной диффузионный метод, получивший распространение в основном в США, позволяет изготовлять *транзисторы микросплавные* с $p-n-p$-структурой посредством соосного электрохимич. осаждения эмиттерного и коллекторного электродов на предварительно профилированном высокоомном кристалле ПП толщиной в неск. *мк*, в к-ром со стороны эмиттера заранее создан низкоомный диффузионный слой. Этот метод весьма сложен, а параметры транзисторов плохо воспроизводимы. В США выпускаются типы: 2N501, 2N502 и др.

Метод двойной диффузии — наиболее прогрессивный метод изготовления германиевых и кремниевых Т. д.

Особенность метода: локальная диффузия примеси, вводимой через окисные маски SiO_2, для образования эмиттерного перехода. Окисная маска — тонкий (от долей до неск. *мк*) слой окиси кремния. В этом слое методом *фотолитографии* вытравливаются лунки необходимой геометрии, через к-рые и идет локальная диффузия, т. к. коэфф. диффузии примесей через SiO_2 весьма мал по сравнению с коэфф. диффузии в ПП (рис. 8). Двойной диффузией получены и планарные транзисторы, в к-рых локальная диффузия производится также и для создания коллекторного перехода. В этом случае все 3 вывода транзистора могут быть выведены со стороны одной поверхности ПП кристалла, что создает большие удобства при использовании в схемах *микроминиатюризации*. Типичные Т. д., изготовленные этим методом: П501—П503 (СССР), 2N697 (США).

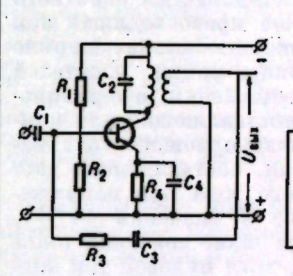


Рис. 9.

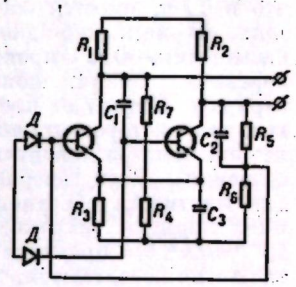


Рис. 10.

Рис. 9. Транзисторы дрейфовые (П402, П403, П416) в схеме резонансного усиления: C — емкости; R — сопротивления; $U_{вых}$ — выходное напряжение.

Рис. 10. Транзисторы дрейфовые (П402, П403, П416) в схеме триггера: *Д* — детектор.

Улучшает параметры Т. д. использование эпитаксиальных *пленок полупроводниковых*, с помощью к-рых можно существенно уменьшить распределенное сопротивление коллектора и улучшить тем самым основные электрич. хар-ки, в особенности импульсные.

Нек-рые типичные схемы применения Т. д. даны на рис. 9 и 10.

Лит.: Самохвалов М. М., Тиходеев Ю. С., в сб.: Полупроводниковые приборы и их применение, под ред. Я. А. Федотова, вып. 5, М., 1960; Ваксенбург В. Я., Пашкевич М. А., Тиходеев Ю. С., там же; Самохвалов М. М., Германиевые сплавные диффузионные триоды, М.—Л., 1962; Краснилов А. В., Трутко А. Ф., Методы расчета транзисторов, М.—Л., 1964; Федотов Я. А., Основы физики полупроводниковых приборов, М., 1963; Спиридонов Н. С., Вертоградов В. Н., Дрейфовые транзисторы, М., 1964; Болтакс Б. И., Диффузия в полупроводниках, М., 1961; Полупроводниковые триоды и диоды. [Справочник], под общ. ред. И. Ф. Николаевского, М., 1961; Smyth J. B., «Proc. I. R. E.», 1958, v. 46, № 7, p. 1358—61; Moll J. L., Ross I. M., там же, 1956, v. 44, № 1, p. 72—78; Dunlap W. C., «Phys. Rev.», 1954, v. 94, № 6, p. 1531—40; Dezoteux J., «Electronique», 1956, № 110, p. 7—12. *В. Я. Ваксенбург, Ю. С. Тиходеев.*

ТРАНЗИСТОР КРЕМНИЕВЫЙ, кремниевый триод (silicon transistor; transistor au silicium; Siliziumtransistor),— трехэлектродный ПП прибор, действие к-рого основано на прохождении электрич. тока (на инжекции носителей заряда) через ПП — кремний. Первые Т. к. были разработаны в 1953—54, на 5 лет позже германиевых. В 1953 были созданы точечные Т. к., в 1954 — поверхностно-барьерные. Первые промышленные типы Т. к., полученные выращиванием из расплава, и сплавные, преимущественно $p-n-p$-типа, выпускаются с 1955. В 1956 были созданы диффузионные Т. к. Техника

диффузии позволила изготовлять высококачеств. Т. к., обеспечивая тем самым их широкое применение.

Преимущества и недостатки Т. к. по сравнению с *транзисторами германиевыми* обусловлены различием основных физ. св-в *кремния* и *германия*. Вследствие этого Т. к. обладают рядом особенностей. Бо́льшая ширина *запрещенной зоны* кремния приводит к меньшим значениям обратного тока p—n-переходов. При уд. сопротивлениях n- и p-областей порядка неск. *ом·см* плотность обратного тока насыщения согласно классич. теории составляет для германиевого перехода 10^{-4}—10^{-3} *а/см*², для кремниевого: 10^{-12}—10^{-11} *а/см*². Более детальный анализ, с учетом генерации носителей заряда в обедненном слое, показал, что в Т. к. имеется составляющая обратного тока, на неск. порядков превосходящая ток насыщения. Она пропорциональна ширине перехода, собств. концентрации носителей заряда и зависит от напряжения (в германиевых транзисторах эта составляющая при комнатной темп-ре значительно меньше тока насыщения). Учет генерац. составляющей дает для плотности обратного тока при напряжениях порядка десятков *в* значения 10^{-10}—10^{-9} *а/см*². На практике такие значения токов также не достигаются, хотя нулевой ток коллектора $I_{ко}$ у Т. к. меньше, чем у германиевых. Расхождение между теоретич. и реальным значениями обратных токов Т. к. объясняется поверхностными явлениями. Еще не создана единая теория, связывающая св-ва поверхности кремния с величинами обратных токов. Наблюдалось возникновение на поверхности кремния каналов, длина к-рых может достигать 2,5 *мм*; наличие каналов приводит к появлению обратных токов порядка 10^{-8}—10^{-7} *а/см*², логарифмически зависящих от прилож. напряжения. Недостаточно высокая степень чистоты при произ-ве Т. к. приводит к возникновению поверхностных токов утечки, чаще всего подчиняющихся закону Ома (напр., в присутствии паров воды или органич. веществ).

Скорость возрастания теоретич. значения обратного тока, определяемая шириной запрещ. зоны, для кремниевых переходов выше, чем для германиевых: на каждые 10° подъема темп-ры теоретич. значение обратного тока возрастает в германиевом транзисторе в 2,2 раза, в Т. к. — в 2,7 раза. Однако абс. величины обратных токов Т. к. остаются достаточно малыми при темп-рах порядка 150°С и выше. С этим связано более высокое значение макс. рабочей темп-ры перехода в Т. к. (175—200°С по сравнению с 85—100° С для германиевых транзисторов), что позволяет им работать с большими перепадами темп-р между переходом и корпусом, т. е. рассеивать большую мощность при одних и тех же тепловых сопротивлениях. С др. стороны, при равных допустимых мощностях рассеяния Т. к. могут иметь меньшие габариты, что особенно важно при создании мощных ВЧ транзисторов.

Высокое значение уд. сопротивления кремния, обусловленное большей шириной запрещ. зоны, позволяет, в принципе, создавать Т. к. с высокими макс. напряжениями, значительно превышающими пробивные напряжения переходов в германиевых транзисторах. Макс. рабочее напряжение на коллекторе Т. к. не всегда определяется пробивным напряжением коллекторного перехода. В ряде случаев, особенно для высоковольтных сплавных Т. к., необходимо учитывать явление прокола, связанное с расширением области пространств. заряда коллекторного перехода в базу транзистора и смыканием этой области с областью пространств. заряда эмиттерного перехода. Ограничения, накладываемые проколом на предельно допустимые коллекторные напряжения, сильнее для Т. к., чем для германиевых транзисторов. Объясняется это тем, что диэлектрич. постоянная кремния меньше (12 для кремния и 16 для германия) и, следовательно, в Т. к. при равных напряжениях и прочих равных условиях область пространственного заряда шире, чем в германиевых транзисторах.

По усилит. св-вам Т. к. уступают германиевым. Коэфф. усиления Т. к. в схеме с общим эмиттером, как правило, не превосходит неск. десятков. Для сплавных Т. к. это обусловлено невозможностью найти столь же высокоэффективный эмиттерный сплав, как сплав индий — галлий, используемый в германиевых транзисторах. В случае диффузионных Т. к. относительно невысокие коэфф. усиления объясняются в большой степени малыми диффуз. длинами неосновных носителей заряда в базе, причиной чего является резкое ухудшение времени жизни носителей заряда при термообработке кремния. Помимо спада коэфф. усиления на больших токах, характерного и для германиевых транзисторов, в Т. к. наблюдается более резкое снижение коэфф. усиления в области малых токов; причина этого снижения: рекомбинация инжектируемых носителей в области пространственного заряда эмиттерного перехода.

Меньшие значения подвижностей электронов и дырок приводят к тому, что при одинаковой ширине базовой области и при прочих равных условиях Т. к. являются, в принципе, менее высокочастотными. На практике частотный предел транзисторов в значит. мере может определяться многими др. физ. и технологич. факторами. Поэтому, напр., маломощные Т. к. уступают по частотному пределу германиевым транзисторам, а мощные Т. к. имеют предельную частоту в неск. раз выше, чем соответствующие германиевые транзисторы.

Изменения параметров Т. к. с темп-рой носят в основном тот же характер, что и у германиевых транзисторов: с увеличением темп-ры растет обратный ток, увеличивается коэфф. усиления, несколько возрастают сопротивление насыщения и входное сопротивление (что связано с ростом уд. сопротивления кремния). Исключение составляет пробивное напряжение: с ростом темп-ры оно не падает, а неск. возрастает, т. к. пробой в Т. к. носит не тепловой, а лавинный характер. С увеличением темп-ры уменьшается длина свободного пробега электронов, вследствие чего для начала лавинного процесса требуется большее значение напряженности поля, и величина пробивного напряжения растет. При низких темп-рах те же причины приводят к снижению пробивного напряжения по сравнению с его значением при комнатной темп-ре.

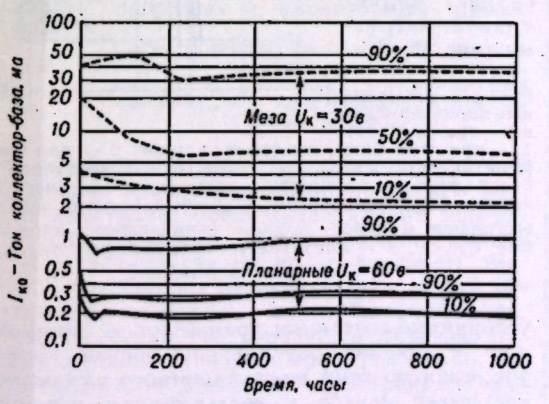
Типовые хар-ки Т. к., по существу, не отличаются от хар-к германиевых транзисторов. Разработаны Т. к. различной полярности

(p—n—p и n—p—n) на мощности рассеяния от неск. десятков *мвт* до сотен *вт*. Предельная частота Т. к. имеет порядок от неск. сотен *кгц* (для сплавных Т. к.) до 1000 *Мгц* (для планарных эпитаксиальных Т. к.). Макс. рабочее напряжение Т. к. лежит в пределах от 10 *в* (для сплавных Т. к. с относительно высокой предельной частотой) до 600 *в*. Макс. ток для различных типов Т. к. колеблется от неск. *ма* до 50—100 *а*. Преимуществами обладают: маломощные переключающие Т. к., имеющие времена нарастания и спада импульса порядка $3 \cdot 10^{-8}$ сек.; Т. к. средней мощности, отдающие на частоте 280 *Мгц* мощности порядка 1 *вт*; мощные диффузионные Т. к. на токи до 10 *а* с частотой 50 *Мгц* и на токи до 100 *а* с частотой 20 *Мгц* и допустимой мощностью рассеяния порядка 1500 *вт*; мощные сплавные Т. к. на токи 30—50 *а*, напряжения до 300 *в*, имеющие сопротивление насыщения порядка 0,05 *ом* и способные при рассеиваемой мощности порядка 100 *вт* переключать мощности порядка 5—10 *квт*.

Последние достижения в области технологии изготовления кремниевых n—p—n-транзисторов с диффузионным эмиттером и базой позволили разработать ряд типов, не уступающих по электрич. св-вам наилучшим образцам германиевых транзисторов, а по своим эксплуатац. хар-кам значительно превосходящих их. К этим достижениям относятся создание т. н. планарных приборов, использование «тройной» диффузии и разработка транзисторов на эпитаксиально выращенных пленках кремния.

Подробно о технологии изготовления Т. к. см. лит.

Стабильность параметров и надежность Т. к. тесно связаны с поверхностными св-вами кремния. В обычных меза-структурах переход коллектор — база выделяется травлением, и с этим может быть связано возникновение дополнит. поверхностных центров рекомбинации, и в результате чего происходит снижение стабильности коэфф. усиления по току, коэфф. шума, нулевого коллекторного тока. В планарных Т. к. оба перехода выходят на поверхность, тщательно обработанную механич. и электрохимич. полировкой. Переходы, создаваемые на такой подготовленной поверхности, защищаются окисной пленкой с самого начала технологич. цикла, что повышает эксплуатац. надежность приборов. На рис. при-



ведены сравнит. данные испытаний на срок службы планарных и обычных (меза) диффузионных Т. к. при 300°. Видно, что и те и другие достаточно стабильны, но у планарных Т. к. абс. значения нулевых токов коллектора меньшие и дрейф по току выражен значительно слабее, несмотря на более высокие приложенные напряжения. (См. также *Транзистор* и *Транзистор дрейфовый*).

Лит.: Nelson J. T. [a. o.], A five-watt ten-megacycle transistor, «Proc. I.R.E.», 1958, v. 46, № 6, p. 1209; Flaherty P. [a. o.], A new five-watt, classe A, silicon power transistor, «IRE Nat. Convent. Rec.», 1959, v. 6, pt 3; Gudmundsen R. A. [a. o.], Recent developments in silicon fusion transistors, «Tele-Tech and Electronic Industries», 1954, № 12, p. 76—78, 149—50; Tanenbaum M. [a.o.], Silicon $n-p-n$ grown junction transistors, «J. Appl. Phys.», 1955, v.26, № 6, p.686—92; Tanenbaum M., Thomas D. E., Diffused emitter and base silicon transistors, «Bell System Techn. J.», 1956, v. 35, № 1, p. 1—22; Aschner J. E. [a. o.], A double diffused silicon high-frequency switching transistor. Produced by Oxide masking techniques, «J. Electrochem. Soc.», 1959, v. 106, № 5, p. 415; Sardella J. J., Wonson R. C., A new high-frequency diffused base NPN silicon transistor, «IRE Nat. Convent. Rec.», 1958, № 6, pt 3, p. 68—76; Little W. A., A PNP high-frequency silicon transistor, «J. Electrochem. Soc.», 1960, v. 107, № 9, p. 789; Epitaxial film technique brings major improvements in diffused-base transistor, «Bell Labs Rec.», 1960, v. 38, № 7, p. 273.

Е. З. Мазель, Ф. П. Пресс.

ТРАНЗИСТОР МИКРОСПЛАВНОЙ (micro-alloy transistor; transistor à micro-alliage; Transistor aus Mikrolegierung) — германиевый маломощный транзистор с p—n—p-структурой на частоты от неск. десятков до неск. тысяч *Мгц*. Используется в усилительных, генераторных или переключающих схемах.

О возможности создания Т. м. с однородной базой сообщалось в 1956 [1], а в 1957 опубликованы осн. электрич. параметры Т. м. типа 2N393 [2]. В 1958 были описаны Т. м. с однородной базой и с градиентом примесей в базе [3, 4]. В основе технологии изготовления Т. м. находится электрохимич. струйное травление соосных лунок и последующее электрохимич. струйное осаждение в эти лунки индия или кадмия. По своей конструкции они близки к *транзисторам поверхностно-барьерным*. Отличие состоит в том, что в Т. м. металлич. осадки проникают в германий на неск. сотых *мк*, а темп-ра плавления лишь на 20—30° превышает темп-ру плавления металла осадка. При затвердевании расплава образуются тонкие рекристаллизованные слои. Эффективность инжекции созданных т. о. переходов значительно выше, чем поверхностно-барьерных, что обусловливает существенно более высокий коэфф. усиления по току, а также позволяет осуществить конструкцию Т. м. с градиентом примесей в базе, обеспечивающим частотный предел более чем на порядок выше, сравнительно с Т. м. с однородной базой. Градиент примесей создают диффузией фосфора, мышьяка или сурьмы из паровой фазы в исходные кристаллы n-Ge с концентрацией примеси $\sim 10^{15}$ *см*$^{-3}$ (рис. 1 и 2).

По физ. принципам работы Т. м. с однородной базой близок к ВЧ сплавным, а с градиентом примесей в базе — *транзисторам дрейфовым*.

Осн. параметры Т. м. с однородной базой (П412, П413): $\alpha \geqslant 0{,}95$; $I_{ко} \leqslant 2$ *мка*; $f_{макс} \geqslant 30$ *Мгц*, $r'_б \cdot C_к \leqslant 1000$ *псек* (на частоте 5 *Мгц*). Перспективы развития данного типа приборов не исчерпаны. Имеется сообщение об изготовлении лабораторных образцов микросплавных транзисторов с диффузионной базой, имеющих $f_{макс} = 5$ *Гец* [5] и мощных

микросплавных транзисторов с градиентом примесей в базе [6]. В основу технологии положено электрохимич. струйное травление при интенсивном облучении светом, что позволяет получать большие площади лунок с плоским дном. Ожидается, что такой прибор будет обладать мощностью рассеяния 15 *вт*, коммутирующие токи могут быть порядка 1 *а* при частоте коммутации 5 *Мгц*.

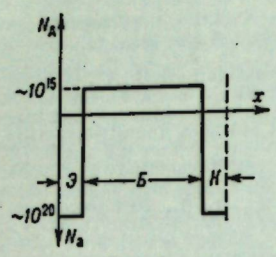


Рис. 1.

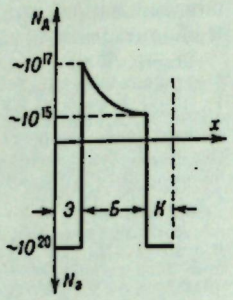


Рис. 2.

Рис. 1. Распределение примесей в микросплавном транзисторе с однородной базой: *Э* — эмиттер; *К* — коллектор; *Б* — база; $N_а$ и $N_д$ — концентрации акцепторов и доноров.

Рис. 2. Распределение примесей в микросплавном транзисторе с градиентом примесей в базе.

Лит.: 1) «J. Franklin Inst.», 1956, v. 262, № 5, p. 421; 2) «Proc. I.R.E.», 1957, v. 45, № 1, p. 7; 3) Rittmann A. D. [a. o.], «IRE Trans. Electron Devices», 1958, v. ED-5, № 2, p. 49; 4) Thornton C. G., Angell J. B., «Proc. I. R. E.», 1958, v. 46, № 6, p. 1116; 5) Philco corporation lansdale division, «Semicond. Prod.», 1961, v. 4, № 4; 6) «Electronics», 1960, v. 33, № 14, p. 11. *А. С. Великанов.*

ТРАНЗИСТОР ПЕРЕКЛЮЧАЮЩИЙ (switching transistor; transistor de commutation; Schalttransistor) —транзистор, предназначенный для работы в режиме переключения. Требования к Т. п. сводятся к улучшению импульсных параметров и к увеличению допустимых амплитуд токов и напряжений. Импульсные параметры описывают форму импульса коллекторного тока при подаче на вход транзистора идеальных по форме прямоугольных импульсов напряжения, а также определяют потери мощности в транзисторе, т. е. его кпд. При работе транзистора в режиме переключения, в момент протекания тока, он находится обычно в режиме насыщения. Форма импульса описывается при этом временными параметрами, зависящими от св-в Т. п. и параметров схемы (рис.1). Общее время

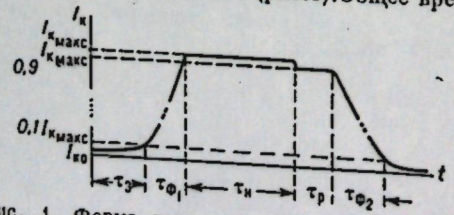


Рис. 1. Форма импульса коллекторного тока; $I_к$ — ток коллектора; $I_{ко}$ — обратный ток коллекторного перехода; *t* — время.

переключения $\tau_н = \tau_з + \tau_{ф1} + \tau_н + \tau_р + \tau_{ф2}$ [$\tau_н$ — время насыщения (длительность плоской части импульса)].

Время нарастания (передний фронт импульса) $\tau_{ф1}$ и спада (задний фронт) $\tau_{ф2}$ определяются, помимо режима работы транзистора, его граничной частотой f_s или $f_β$, соответственно в схеме с общей базой или с общим эмиттером, и зависят от тех же конструктивных и физ. особенностей этого прибора, что и граничная частота (см. *Транзистор дрейфовый*). Время задержки $\tau_з$ зависит от величины емкости эмиттерного перехода и обычно составляет незначит. долю от $\tau_{ф1}$, в особенности для Н транзисторов. Время рассасывания $\tau_р$ определяется зарядом, накопленным в базовой и коллекторной областях транзистора, их размерами, временем жизни носителей заряда в этих областях и особенно условиями запирания. Кроме того, для хар-ки Т. п. служат *B* — коэфф. усиления по пост. току в схеме с общим эмиттером; $r_б$ — сопротивление базы, $r_н$ — сопротивление транзистора, работающего в режиме насыщения.

Для сплавных НЧ транзисторов (напр., типа П13—П15) характерно накопление заряда в области сравнительно толстой базы (20—100 *мк*). Тонкая коллекторная область этих приборов обладает низким уд. сопротивлением, а скорость рекомбинации носителей заряда в ней высока. Поэтому накопления заряда в коллекторной области сплавных транзисторов не происходит. Время нарастания импульса для этих транзисторов составляет единицы иногда десятки *мксек*. ВЧ диффузионные транзисторы (напр., типа П401—П403, П501—П503, П601—П602, П70,1Т308) обладают тонкой базой (2—5 *мк*), что обеспечивает их быстрое включение и выключение (десятые или сотые доли *мксек*). Однако в сравнительно толстой и высокоомной коллекторной области, образуемой исходным ПП материалом, во время прохождения тока накапливается заряд, к-рый может рассасываться за время $\tau_р$, превышающее $\tau_н$. Коллекторная область этих транзисторов представляет значит. сопротивление, включенное последовательно с коллекторным переходом. Оно увеличивает потери мощности в транзисторах указанного типа. К идеальному переключателю в наибольшей степени приближаются эпитаксиальные *транзисторы-меза*, к-рых высокая скорость переключения (единица *нсек*), малые величины $r_б$ и $r_н$ сочетаются с высоким напряжением коллектора и отсутствием накопления заряда в коллекторной области. При переключении больших мощностей транзистор может проходить неустойчивые или близкие к ним состояния, особенно в случае индуктивной нагрузки (рис. 2). Не-

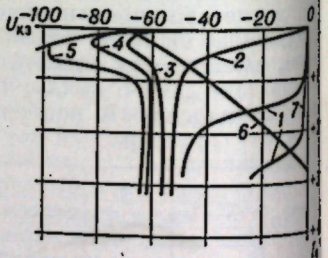


Рис. 2. Выходные характеристики транзистора: *1* — при токе базы, отличном от нуля; *2* — при токе базы, равном нулю; *3* — когда между эмиттером и базой включено сопротивление; *4* — когда внешние выводы базы закорочены, $U_{эб}=0$; *5* — когда между эмиттером и базой подано запирающее напряжение $U_{бэ}<0$; *6* — допустимая нагрузочная прямая; *7* — область насыщения.

устойчивые состояния транзисторов, приводящие к пробою, обусловлены ростом коэфф. усиления по току из-за лавинного *умножения носителей заряда в коллекторном переходе*. Напряжение коллектор — эмиттер $U_{кэ}$, при к-ром коэфф. усиления в схеме с общим эмиттером резко возрастает, а рост коллекторного тока $I_к$ ограничивается только сопротивлением нагрузки, зависит от св-в транзистора и от величины запирающего напряжения эмиттер— база. Безусловно устойчива область работы при напряжениях коллектор — эмиттер меньших $U_{α=1}$, т. е. напряжениях, при к-рых коэфф. усиления по току в схеме с общей базой обращается в единицу ($α = 1$), а в схеме с общим эмиттером — в бесконечность, при условии равенства нулю базового тока (базовый вывод отсоединен). Величина $U_{α=1}$ связана с пробивным напряжением коллектор—база $U_{кб\,проб}$ и с коэфф. усиления по пост. току *B*:

$$U_{α=1} = \frac{U_{кб\,проб}}{(1+β)^{1/n}},$$

где $n = 3$ для германиевых сплавных транзисторов с *p—n—p*-структурой; $n = 4{,}6$—6,6 для германиевых сплавных транзисторов с *n—p—n*-структурой; $n = 4$ для германиевых диффуз. транзисторов с *p—n—p*-структурой; $n = 4$—5 для кремниевых транзисторов с *n—p—n*-структурой.

При использовании транзисторов в области напряжений, бо́льших $U_{α=1}$, необходимо проверять устойчивость их работы в каждой конкретной схеме, снижая в случае необходимости переключаемый ток или напряжение. *А. Б. Поляков.*

ТРАНЗИСТОР ПОВЕРХНОСТНО-БАРЬЕРНЫЙ (surfacebarrier transistor; transistor à surface de barrage; Transistor mit Oberflächenschwellwerten) — германиевый маломощный транзистор с *p — n — p*-структурой (запирающие слои эмиттерного и коллекторного электродов образуются на границе раздела металл — ПП), работающий на частотах неск. десятков *Мгц*. Т. п.-б. используют в генераторных, усилительных и переключающих схемах. Первые конструкции Т. п.-б. на предельные частоты 30—60 *Мгц* и метод их изготовления были описаны в 1953 [1] и [2].

Основой Т. п.-б. (рис.) служит кристалл *n*-Ge, с двух противоположных сторон к-рого струйным электрохимич. травлением соосно вытравлены две лунки. На их дно этим же методом также соосно наносятся эмиттер и коллектор — индиевые осадки диаметром в доли *мм*.

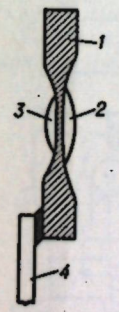


Схема поверхностно-барьерного транзистора: *1* — кристалл германия; *2* — коллекторный электрод; *3* — эмиттерный электрод; *4* — кристаллодержатель (базовый вывод).

Образование *электронно-дырочных переходов* в транзисторах этого типа не связано с распределением донорных и акцепторных примесей в объеме ПП, а обусловлено различием энергетич. уровней на поверхности и в глубине кристалла. Вследствие наличия поверхностных состояний, захватывающих электроны и локализующих их, поверхность германия приобретает отрицат. заряд, к-рый отталкивает электроны в глубь кристалла. Вблизи поверхности образуется пространств. заряд и слой дырочной проводимости — *инверсионный слой*. Металлич. электрод, находящийся в контакте с кристаллом германия, обеспечивает хорошее соединение с поверхностным слоем. При подаче на электрод напряжения потенциальный барьер будет снижаться или исчезнет совсем; при обратном напряжении пространств. заряд расширится и потенциальный барьер на границе металл — ПП возрастет. Наибольшая высота потенциального барьера получается при металлич. контактах из индия, цинка, кадмия, олова или меди. Для образования инверсионного слоя необходима возможно бо́льшая плотность поверхностных состояний, к-рая также в значит. степени зависит от природы металла контакта.

Осн. параметры Т. п.-б. (П404, П405): коэфф. усиления по току в схеме с общей базой на частоте 270 *гц* ≥0,93; напряжение коллектора — 3 *в*; ток эмиттера 0,5 *ма*; предельная частота по току ≥10 *Мгц*; наибольшая частота генерирования 20 *Мгц* и т. д.

На основе метода струйного электрохимич. травления и осаждения созданы другие, более совершенные ВЧ транзисторы — германиевые микросплавные с однородной базой [3] и с градиентом примесей в базе [4], а также кремниевые микросплавные [5].

Лит.: 1) Tiley J., Williams R., «Proc. I. R. E.», 1953, v. 41, № 12, p. 1706; 2) Bradley W., там же, p. 1702; 3) Rittmann A. D. [a. o.], «IRE Trans. Electron Devices», 1958, v. ED—5, № 2, p. 49; 4) Thornton C. G., Angell J. B., «Proc. I. R. E.», 1958, v. 46, № 6, p. 1166; 5) «Electronics», 1954, v. 27, № 2, p. 6. *А. С. Великанов.*

ТРАНЗИСТОР ТОЧЕЧНЫЙ (point-contact transistor; transistor à pointe; Spitzentransistor)—ПП триод, в к-ром оба перехода точечные. *Электронно-дырочные переходы* в Т. т. образуются в местах контакта монокристаллич. ПП пластины с эмиттерным и коллекторным электродами (бронзовые или из др. металла заостренные проволоки). Поверхность контакта составляет неск. *мк*²: Пластина припаяна к массивному металлич. основанию, служащему базовым контактом. Схематич. изображение Т. т. и движение носителей заряда при его работе показано на рис. Ток

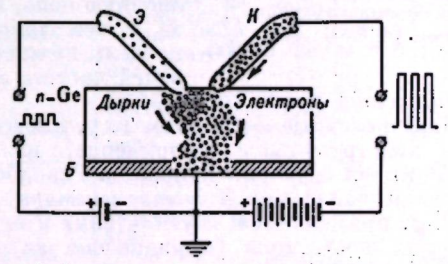


Схема точечного транзистора.

в Т. т. складывается из потока дырок, эмиттируемых переходом, и потока электронов, притягиваемых из монокристалла. Усиление по току в Т. т. превосходит 1 вследствие того, что введенные дырки вызывают дополнит. ток электронов через переход коллектора. С повышением частоты сигнала до 1—10 *Мгц* усиление Т. т. падает вследствие значит. времени пролета дырок между эмиттером (*Э*) и коллектором (*К*). Т. т. обладает склонностью к самовозбуждению из-за большего усиления по току и значит. сопротивления базы (*Б*).

Электрич. параметры Т. т. при окружающей темп-ре 20±5° С в схеме с заземленной базой находятся в след. пределах: входное сопротивление при разомкнутом выходе 750—1500 *ом* (максимум); сопротивление базы 200—1000 *ом* (максимум); входные сопротивления при разомкнутом входе 7 *ком* (максимум); коэфф. усиления по току на частотах 0,5—5 *Мгц*

1—1,5 (минимум); коэфф. усиления по мощности 15—22 *дб* (при внутр. сопротивлении источника сигнала 500 *ом* и сопротивлении нагрузки 10 *ком*); коэфф. усиления по напряжению 30—50 (минимум) и т. д. Предельно допустимые эксплуатац. данные, напр., для Т. т. типа С1А: наибольшее напряжение эмиттера минус доли *в*; наибольший ток эмиттера (коллектора) 10 *ма*; наибольшая мощность, рассеиваемая коллектором, 100 *мвт*; наибольшее напряжение коллектора минус 40 *в*, температурные пределы работы от +50° до —50°С.

Фактор шумов у Т. т. больше, чем у плоскостных транзисторов; частотные хар-ки хуже, чем у сплавных и диффуз. транзисторов с тонкой базой. Т. т. нашли огранич. применение.

Лит.: Электровакуумные приборы. Справочник, М.—Л., 1956, с. 398—400. *С. М. Файнштейн.*

ТРАНЗИСТОР УНИПОЛЯРНЫЙ, алькатрон, транзистор канальный, транзистор полевой, тecнетрон (unipolar transistor; transistor unipolaire; unipolarer Transistor), — транзистор с управляемым каналом для потока основных носителей заряда.

Т. у. по принципу работы аналогичен вакуумному *триоду*, а его рабочие хар-ки подобны хар-кам *пентода*. Т. у. отличается от др. типов транзисторов тем, что ток образован только основными носителями заряда (рис.).

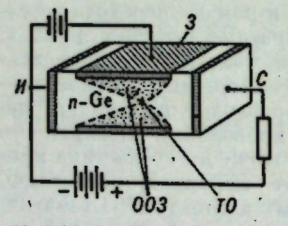


Схема униполярного (канального) транзистора: *ТО* — точка отсечки; *ООЗ* — область объемного заряда; *И* — исток (катод); *С* — сток (анод); *З* — затвор (сетка).

Т. у. имеет высокие входное (до 10 *Мом*) и выходное (500 *ком*) сопротивления и очень малую инерционность при передаче электрич. сигнала от управляющего электрода в анодную цепь, в связи с чем теоретич. пределы по макс. рабочей частоте лежат в диапазоне неск. тысяч *Мгц*.

Перечисленные выше виды Т. у. имеют разное конструктивное оформление, но физ. принцип их действия одинаков. Разработаны также и канальные *фототранзисторы*.

Т. у. применяются: в усилителях и ограничителях пост. тока (в диапазоне звуковых частот и ВЧ), в схемах счетных устройств и управления оптич. элементами, в радиоприемниках и в измерит. устройствах, в схемах генераторов, при конструировании *твердих схем* и др. устройствах. Т. у. позволяют создавать схемы с применением 1—2 стандартных элементов в различных видах включения; при этом моделируют все элементы схемы (сопротивления, конденсаторы, индуктивности тр-ры и др.) с помощью одного Т. у. Особенно целесообразно применение Т. у. в тех случаях, когда требуется высокое входное сопротивление и малые шумы (до 0,4 *дб*). Построение электронных схем Т. у. аналогично созданию схем на пентодах.

Т. у. изготовляют на основе Ge, Si, CaAs, InP, CdS и SiC, применяя сплавление, диффузию и т. д.

Лит.: Федотов Я. А., Основы физики полупроводниковых приборов, М., 1963, с. 474—85. *В. В. Малин.*

ТРАНЗИСТОРА МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ (transistor parameters measuring methods; méthodes de mesure des paramètres d'un transistor, Methoden zur Messung der Transistorparameter) — измерение числовых значений величин, характеризующих транзисторы в выбранных схемах включения и режимах.

Обратные токи эмиттерного $I_{э0}$ и коллекторного $I_{к0}$ переходов, начальный ток коллектора $I_{кн}$, ток коллектора закрытого транзистора $I_{кз}$ измеряются на пост. токе. Схемы измерений приведены на рис. 1. Коэфф. усиления

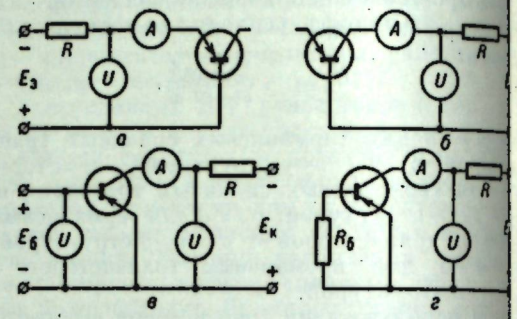


Рис. 1. Схемы измерения токов $I_{э0}(а), I_{к0}(б), I_{кз}(в)$, $I_{кн}(г)$: R — сопротивление; $E_э$ — номин. напряжение эмиттера; $E_б$ — номин. напряжение базы; $E_к$ — номин. напряжение коллектора; $R_б$ — сопротивление базы.

по току в схеме с общим эмиттером $B_{ст}$, напряжения насыщения коллектора $U_{кн}$ и базы U, статич. крутизна передаточной хар-ки в схеме с общим эмиттером $S_{оэ}$ и в схеме с общей базой $S_{об}$ измеряются на пост. токе, если режим измерения выбран таким, что величина измеряемого параметра не меняется от разогр

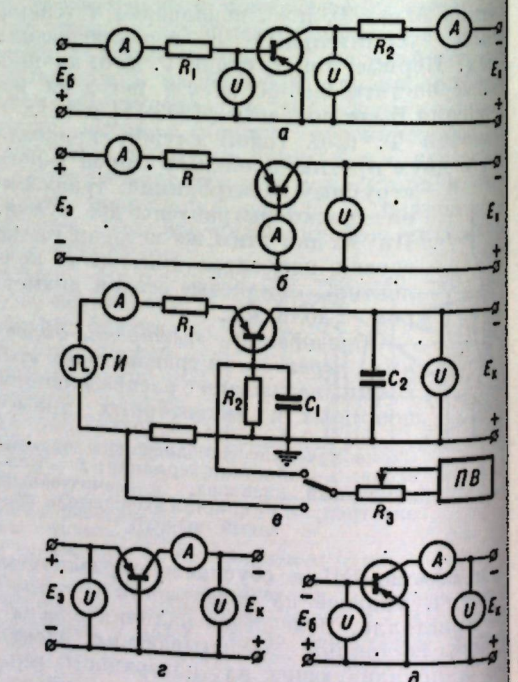


Рис. 2. Схемы измерения параметров $U_{кн}$ и $U_б$ (*а*); $B_{ст}$ — на пост. токе (*б*) и импульсным методом (*в*): C_1 — корректирующая емкость; C_2 — блокирующая емкость; *ПВ* — пиковый вольтметр; *ГИ* — генератор импульсов; $S_{об}$ (*г*) и $S_{оэ}$ (*д*).

транзистора за счет выделяемой мощности. Если же разогрев влияет на измеряемую величину, то применяется импульсный метод, т. е. источники пост. тока и напряжения, измерит. приборы пост. тока заменяются импульсными. Длительность импульса выбирают такой, чтобы успели закончиться все переходные процессы, а частоту следования импульсов подбирают с расчетом, чтобы мощность, выделяющаяся на переходах, не вызывала существенного разогрева транзистора. Схемы измерения параметров: $U_{кн}$, $U_{бн}$, $B_{ст}$, $S_{оэ}$, $S_{об}$ даны на рис. 2.

Малосигнальные параметры: макс. частота генерации $f_{макс}$, предельная частота усиления по току в схеме с общей базой f_α, модулькоэфф. усиления по току в схеме с общим эмиттером на ВЧ $|\beta_f|$, емкость коллекторного перехода $C_к$, постоянная времени $r'_б \cdot C_к$, h-параметры (h_{11}, h_{12}, h_{22}, h_{21}) измеряются посредством наложения на пост. составляющую заданного режима малой перем. составляющей (последняя измеряется в соответствующих цепях схемы, в к-рую включен транзистор). Пример измерит. схемы h_{11} приведен на рис. 3. Особое место среди ма-

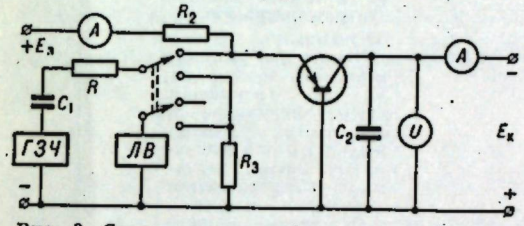


Рис. 3. Схема измерения h_{11} на НЧ: R_1 и R_2 — токоограничит. сопротивления; C_1 — разделит. емкость; C_2 — блокирующая емкость; R_3 — сопротивление эталонное; *ГЗЧ* — генератор звуковой частоты; *ЛВ* — ламповый вольтметр.

лосигнальных параметров занимает измерение фактора шума $F_ш$. Скоростные параметры: время включения $T_{вкл}$, время выключения $T_{выкл}$, время рассасывания $T_р$ измеряются как интервалы времени изменения тока коллектора между определ. относит. уровнями (относительно установившегося значения), напр. $T_{вкл}$ и $T_{выкл}$ между уровнями 0,1 и 0,9 (см. *Транзисторов скоростные характеристики*).

Схема измерения параметров $T_р$, $T_{вкл}$, $T_{выкл}$ приведены на рис. 4.

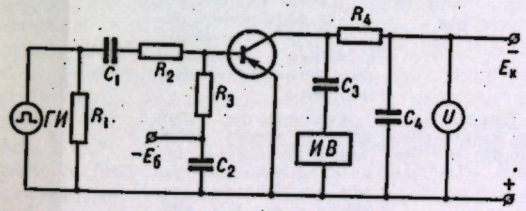


Рис. 4. Схема измерения параметров $T_р$, $T_{вкл}$ и $T_{выкл}$: C_1 и C_3 — разделит. емкости; C_2 и C_4 — блокирующие емкости; R_1 и R_4 — нагрузочные сопротивления; R_2 и R_3 — токоограничит. сопротивления; *ИВ* — измеритель времени.

Полярности напряжений и токов на рис. показаны для транзисторов p—n—p-типа. Для транзисторов n—p—n-типа полярность обратная. Единицы измерения перечисл. величин приведены в ст. *Транзистора параметры.*

Ю. В. Китлер.

ТРАНЗИСТОРА ПАРАМЕТРЫ (parameters of a transistor; paramètres de transistor; Transistorparameter) — величины, характеризующие св-ва транзистора в различных схемах включения и режимах работы. Включение транзистора осуществляют по схемам с общими: базой, эмиттером или коллектором (рис. 1). В зависимости от величины *смещения* на эмиттерном и коллекторном переходах различают три режима работы транзистора и соответственно три области в семействе вольтамперных хар-к (см. *Транзистора статические характеристики*): активную, отсечки и насыщения. В каждой из этих областей транзистор характеризуется специфическими параметрами. Ниже приводятся наиболее часто используемые Т. п. (см. также *Транзистора частотные свойства*).

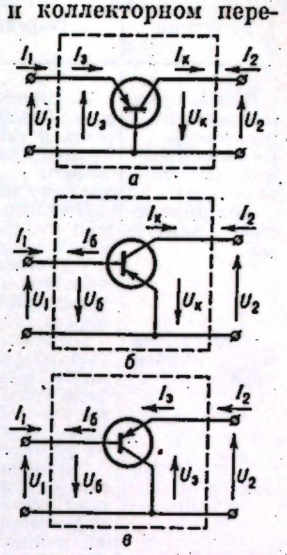


Рис. 1. Схемы включения транзистора: *а* — с общей базой ($I_2=-I_к$, $I_1=I_э$, $U_1=U_э$, $U_2=-U_к$); *б* — с общим эмиттером ($I_2=-I_к$, $I_1=-I_б$, $U_2=-U_к$, $U_1=-U_б$); *в* — с общим коллектором ($I_2=I_э$, $I_1=-I_б$, $U_2=U_э$, $U_1=-U_б$).

1) Электрические параметры и режимы.

а) Электрические данные

Таблица 1

Величина	Определение	Обозначение	Единица измерения
Ток эмиттера	Ток через вывод эмиттера при прямом смещении на эмиттерном переходе	$I_э$	*ма, а*
Обратный ток эмиттера	Ток через переход эмиттера — база при заданном обратном напряжении на эмиттере при токе коллектора, равном нулю	$I_{э0}$	*мка, ма*
Ток коллектора	Ток через вывод коллектора при обратном смещении на коллекторном переходе	$I_к$	*ма, а*
Обратный ток коллектора	Ток через переход коллектор — база при заданном обратном смещении на коллекторе и при токе эмиттера, равном нулю	$I_{к0}$	*мка, ма*
Обратный ток коллектора закрытого транзистора	Ток через коллектор при заданных обратном смещении и запирающем напряжении на эмиттере	$I_{к\,зак}$	*мка*
Начальный ток коллектора	Ток коллектора при замкнутых накоротко выводах эмиттера и базы	$I_{кн}$	*мка, ма*
Сквозной ток коллектора (см. также *Обратный ток перехода*)	Ток коллектора при разомкнутой цепи базы	$I_{кс}$	*ма*
Номинальное напряжение на коллекторе	Макс. напряжение источника питания, выбранного для цепи коллектора с таким расчетом, чтобы не наступал пробой	$E_к$	*в*
Плавающий потенциал эмиттера	Напряжение между эмиттером и базой при заданном напряжении между коллектором и базой	$U_{эб\,пл}$	*в*

Продолжение

Величина	Определение	Обозначение	Единица измерения
Напряжение насыщения (см. также *Обратное напряжение перехода*)	Напряжение, к-рое необходимо приложить к входу транзистора, чтобы обеспечить заданную глубину насыщения	$U_{эбн}$ $U_{кэн}$ $U_{кбн}$	*в*
Сопротивление эмиттера	Отношение изменения напряжения на эмиттерном переходе к изменению тока эмиттера в режиме кз в выходной цепи по перем. току	$R_э$	*ом*
Сопротивление коллектора	Отношение изменения напряжения на коллекторном переходе к изменению тока коллектора в режиме хх входной цепи по перем. току	$R_к$	*ом*
Сопротивление базы	Отношение изменения напряжения между эмиттером и базой к изменению тока коллектора в режиме хх входной цепи по перем. току	$R_б$	*ом*
Сопротивление насыщения	Отношение напряжения между коллектором и эмиттером к току коллектора в режиме насыщения (в схеме с общим эмиттером)	$R_{кэн}$	*ом*
Тепловое сопротивление	Отношение макс. приращения темп-ры переходов транзистора к приращению мощности, рассеиваемой транзистором при заданных условиях охлаждения (напр., с теплоотводами)	$R_т$	$\frac{град}{вт}$
Входное сопротивление при хх на выходе	Отношение изменения напряжения на входе к изменению тока во входной цепи в режиме хх на выходе по перем. току	$R_{вх\ хх}$	*ом*
Входное сопротивление при кз на выходе	Отношение изменения напряжения на входе к изменению тока во входной цепи в режиме кз на выходе по перем. току	$R_{вх\ кз}$	*ом*
Выходное сопротивление при хх на входе	Отношение изменения напряжения на выходе к изменению тока в выходной цепи в режиме хх на входе по перем. току	$R_{вых\ хх}$	*ом*
Выходная проводимость при хх на входе	Отношение изменения выходного тока к изменению выходного напряжения в режиме хх входной цепи по перем. току	$\sigma_{вых}$	*мо*
Емкость эмиттерного перехода	Емкость, измеряемая между эмиттерным и базовым выводами при разомкнутой цепи коллектора	$C_э$	*пф*
Емкость коллекторного перехода	Емкость, измеряемая между коллекторным и базовым выводами при разомкнутой цепи эмиттера и обратном смещении на коллекторе	$C_к$	*пф*
Коффициент усиления по току (коэфф. передачи тока)	Отношение изменения тока выходной цепи к изменению тока входной цепи в режиме кз выходной цепи по перем. току		
	в схеме с общей базой	α	—
	в схеме с общим эмиттером	β	—
Коэффициент усиления по напряжению	Отношение изменения напряжения на выходе к изменению напряжения на входе в режиме хх в выходной цепи по перем. току	K	—
Коэффициент обратной связи по напряжению	Отношение изменения напряжения на входе к изменению напряжения на выходе в режиме хх во входной цепи по перем. току	$h_т$	—
Коэффициент усиления по мощности	Отношение мощности, выделяемой на нагрузке транзистора, к номин. мощности источника сигнала	$K_р$	—
Коэффициент шумов	Отношение полной мощности шумов на выходе (исключая шумы нагрузки) к той части шумов на выходе, к-рая вызвана тепловыми шумами сопротивления источника сигнала	$F_ш$	*дб*
Коэффициент нелинейных искажений	Отношение общего нелинейного искажения к составляющей основной частоты $D=\frac{\left(i_2^2+i_3^2+\ldots+i_n^2\right)^{1/2}}{i_1}\times\frac{\left(i_2^2+i_3^2+\ldots+i_n^2\right)^{1/2}}{i_1}\cdot 100\%$, где i_1—амплитуда основной частоты; i_2, i_3, ... , i_n—амплитуды гармоник частоты сигнала в токе нагрузки (токи могут быть заменены напряжениями)	D	%
Максимальная частота генерации	Частота, на к-рой (усиление по мощности приближенно равно 1) транзистор способен генерировать в схеме автогенератора	$f_{макс}$	*Мгц*
Предельная частота усиления по току	Частота, на к-рой модуль коэфф. усиления по току в схеме с общей базой падает на 3 *дб* по сравнению с его НЧ значением	f_α	*Мгц*
Постоянная времени цепи обратной связи	Произведение емкости коллектора и омич. сопротивления базы по ВЧ	$r'_б \cdot C_к$	*сек*
Статическая крутизна на пост. токе	Отношение тока коллектора к напряжению базы	$S_{ст}$	*а/в*
Динамическая крутизна переходной характеристики	Тангенс угла наклона прямой, касательной к линейному участку переходной хар-ки	$S_{дин}$	—
Долговечность	Ее критерии: изменения обратного тока коллектора, коэфф. усиления по току и выходной проводимости в пределах установл. норм	—	*ч*

В. Ф. Фокина.

Приводим сведения о нек-рых важнейших параметрах ВЧ транзисторов.

Предельная частота усиления по току (предельная частота коэфф. передачи тока)—ВЧ параметр транзистора, определяющий амплитудную и фазовую частотные хар-ки коэфф. усиления по току в схеме с общей базой и в схеме с общим эмиттером (рис. 2,3):

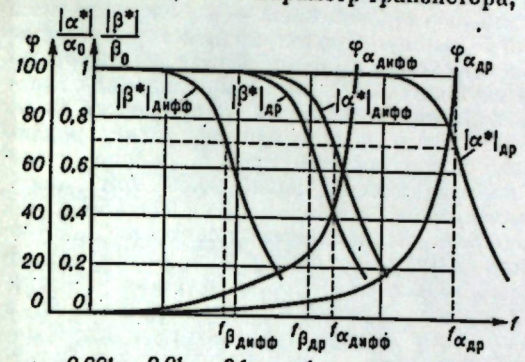


Рис. 2. Амплитудная и фазовая частотные хар-ки коэфф. передачи тока: φ— фазовый угол.

$$\alpha^*=\alpha_0 e^{-jcy}/(1+jy),$$
$$\beta^*=\alpha_0 e^{-jby}/(1-\alpha_0)\,[1+jy/(1-\alpha_0)\,k],$$

где $k=f_\beta/(1-\alpha_0)f_\alpha$, $c=(1-k)/k$, $b=(1-k^2)/2k$, $y=f/f_\alpha$.

Коэфф. k зависит от величины поля в базе и колеблется от 0,822 (бездрейфовые сплавные транзисторы) до 0,6 (большинство дрейфовых транзисторов с диффуз. базой). Практич. значение имеет соотношение $|\beta|\approx k\alpha_0 f_\alpha/f$, т. е. $|\beta|f\approx$ const, справедливое в диапазоне частот $3f_\beta<f<f_\alpha$. Условие $|\beta|=1$ характеризует граничную частоту $f_т=\alpha_0 k f_\alpha$. Величина f_α определяется скоростью переноса (дрейфового или диффузионного) неосновных носителей заряда через область базы и связана с физич. и геометрич. хар-ками транзистора: $f_\alpha\approx\frac{D}{\pi w^2}\left[\frac{1}{2}\ln\frac{N_э}{N_к}\right]^{3/2}$ для дрейфового и $f_\alpha\approx 1{,}21D/\pi w^2$ для бездрейфового транзистора, где D— коэфф. диффузии неосновных носителей в области базы, w — толщина базы, $N_э$ и $N_к$— концентрации примесей в базе у границ эмиттерного и коллекторного переходов. У транзисторов с диффуз. механизмом переноса неосновных носителей заряда f_α колеблется от десятков *кгц* до 30 *Мгц*, с дрейфовым механизмом переноса (вследствие создания градиента концентрации примесей, а следовательно, и электрич. ускоряющего поля в базе) — достигает сотен, а у нек-рых типов — тысячи *Мгц*. Такое повышение f_α сопровождается ростом крутизны частотной фазовой хар-ки коэфф. передачи тока и значения фазового угла $\varphi°$ на предельной частоте; при этом повышается опасность самовозбуждения транзисторов в многокаскадных усилителях с обратной связью. Кроме того, коэфф. передачи тока от эмиттера к коллектору на ВЧ зависит от омич. сопротивления базы $r'_б$ и емкости коллекторного перехода $C_к$. Под f_α обычно понимают ту предельную частоту, к-рую имел бы идеальный транзистор с $r'_б=0$ и $C_к=0$.

Граничная частота $f_т$ определяется как частота, на к-рой модуль коэфф. передачи тока в схеме с общим эмиттером обращается в единицу. В диапазоне частот $f_т>f>3f_\alpha/\beta_0$ модуль коэффициента передачи тока в схеме с общим эмиттером подчиняется гиперболическому закону

$$|\beta|=f_т/f,$$

где f — частота, на к-рой производится измерение.

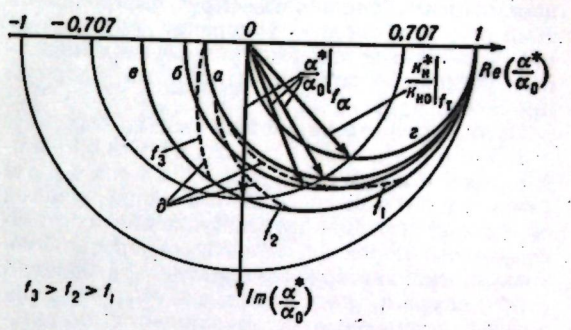


Рис. 3. Годографы векторов α* нек-рых типов транзисторов: *а* — бездрейфовый [$\varphi_\alpha(f_\alpha)\approx -57°$]; *б* — дрейфовый [$\varphi_\alpha(f_\alpha)\approx -67°$]; *в* — с сильным дрейфовым полем [$\varphi_\alpha(f_\alpha)\approx -90°$]; *г* — годограф коэфф. передачи *RC*-цепочки [$\varphi(f_т)\approx -45°$]; *д* — линии пост. частоты; *Im* и *Re* — активная и реактивная составляющие; f_1, f_2, f_3— частоты.

Максимальная частота генерации $f_{макс}$ одновременно является предельной частотой усиления транзистора по мощности в соответствии с условием баланса амплитуд в автогенераторе [коэфф. усиления по мощности $K_р(f_{макс})=1$]. $f_{макс}$—один из ВЧ параметров транзистора, однозначно определяющий его ф-цию — $U(f)$ — макс. усиление транзистора по мощности в схеме с внешней обратной связью, состоящей только из реактивных элементов и делающей усилит. каскад однонаправленным. В отличие от $K_р$, U не зависит от элементов внешних цепей и служит параметром собственно транзистора, инвариантным по отношению к любым преобразованиям с помощью схемы без потерь. Связь U-ф-ции с др. ВЧ параметрами транзистора в первом приближении выражается соотношениями: $U=f_\alpha/30r'_б C_к f^2$, $U=(f_{макс}/f)^2$, т. е. падение U-ф-ции с ростом частоты происходит с пост. скоростью 6 *дб* на октаву. Т. о., $f_{макс}$ полностью характеризует диапазон частот, в к-ром транзистор может служить усилителем. Величина $K_р$ в диапазоне, где $U>1$, может быть сделана любой даже в однонаправленной схеме путем соответствующего выбора параметров цепи обратной связи.

б) Предельно допустимые эксплуатационные данные, определяются исходя из требований к надежности длительной работы приборов в схемах, а также теми возможностями, которые вытекают из действующей технологии изготовления прибора данного типа (разброс параметров, % выхода годных приборов и т. д.); при этом изменения параметров транзистора при длительной работе не должны превышать установленных норм. Такими данными служат: наибольший ток (напряжение) коллектора (эмиттера); наибольшее напряжение коллектор — база (эмиттер—база или коллектор — эмиттер); наибольшая рассеиваемая мощность, наибольшая (наименьшая) темп-ра

коллекторного перехода; наибольшая (наименьшая) темп-ра окружающей среды; наибольшее (наименьшее) атм. давление; наибольшая относит. влажность (при определенной темп-ре); наибольшее ускорение при вибрации, наибольшее линейное ускорение; наибольшее ускорение при испытании на ударную прочность и др.

Приводим сведения о нек-рых из них:

Наибольшее допустимое напряжение между коллектором (эмиттером) и базой определяется величиной пробивного напряжения соответствующего перехода, зависит от предъявляемых к транзистору эксплуатац. требований (срок службы, надежность работы, температурный диапазон) и устанавливается длительными испытаниями. Исходное значение пробивного напряжения измеряется либо осциллографированием обратной ветви вольтамперной хар-ки соответствующего перехода либо с помощью стрелочных приборов по фиксированному уровню обратного тока. Различают тепловой пробой, когда увеличение обратного напряжения приводит к неустойчивости теплового баланса (т. е. рассеиваемая в транзисторе мощность превышает отводимый тепловой поток и темп-ра транзистора нарастает сверх допустимых пределов), и электрич. пробой, связанный с быстрым нарастанием обратного тока. Наиболее изучены *лавинный пробой*, *зинеровский пробой*, прокол и поверхностный пробой. Напряжения лавинного пробоя, определяемые св-вами высокоомной части ПП, $U_л = AQ^b$, где Q — уд. сопротивление; $U_л(T) = U_л(T_0)[1 + k(T - T_0)]$. Напряжение зинеровского пробоя $U_з = BQ_n + CQ_p$, где Q_n и Q_p — уд. сопротивление n- и p-областей. Коэфф. A, B, b, C и k приведены в табл. 2.

Таблица 2

Материал базы / Коэффициент	Германий		Кремний	
	n-тип	p-тип	n-тип	p-тип
A	83,4	52	86	23
b	0,61	0,61	0,64	0,75
$k \cdot 10^4$/град$^{-1}$	12	12	88	88
B	99	99	39	39
C	48	48	8	8

«Прокол» транзистора («punchthrough») состоит в возникновении большого неуправляемого сквозного тока из-за т. н. смыкания переходов транзистора, т. е. проникновения поля коллектора сквозь базу до границы эмиттерного перехода. Инжектированные эмиттером неосновные носители заряда при этом попадают непосредственно в ускоряющее поле коллектора. Напряжение прокола сильно зависит от местных неоднородностей толщины базы w, пробой развивается в наиболее тонких местах: $U_{пр} = w^2_{мин}/2\varepsilon\mu_n Q_б$ для сплавных транзисторов, $U_{пр} = 2qaw^2_{мин}/3\varepsilon$ для тянутых транзисторов (ε — диэлектрич. постоянная ПП, μ_n — подвижность электронов, $Q_б$ — уд. сопротивление базы, q — заряд электрона, $a = N(x)/x$, N — концентрация примесей, x — направление их распространения). Относит. величина неоднородности толщины базы $w/w_{мин}$, зависящая от технологии изготовления и площади переходов, составляет от 2 до 5 у маломощных и от 5 до 9 у мощных НЧ транзисторов, 1—1,5 у ВЧ и около 1 у тянутых транзисторов. Зинеровский пробой преимущественно возникает в тонких переходах ($Q < 0{,}5$ *ом·см*), лавинный — в более широких ($Q > 0{,}5$ *ом·см*). Прокол транзисторов проявляется в схемах с общим эмиттером, особенно при глубоких локальных проплавлениях базовой области. В области запирающего слоя, прилегающего к поверхности, может развиваться поверхностный пробой, сильнее всего проявляющийся на перем. токе (см. *Полупроводниковых приборов нестабильность параметров*). Наибольшее допустимое напряжение между коллектором и базой может варьироваться от 6—10 *в* (германиевые микросплавные транзисторы) до 20—300 *в* (кремниевые диффуз. транзисторы). Наибольшее допустимое напряжение между эмиттером и базой диффуз. транзисторов существенно меньше (единицы и доли *в*) в связи с высоким значением градиента концентрации примеси, к-рый необходим для создания большого поля в базе и уменьшения *времени пролета носителей заряда*.

Наибольшая рассеиваемая мощность транзистора складывается из суммы мощностей, выделяемых протекающим током на эмиттерном и коллекторном переходах, и в значит. степени зависит от темп-ры окружающей среды $T_{окр}$, конструкции и условий отвода тепла от корпуса прибора. Устанавливается, исходя из наибольшей темп-ры коллекторного перехода, и проверяется экспериментально. По величине наибольшей рассеиваемой мощности ПП приборы подразделяются на маломощные ($P_{макс}$ находится в пределах 30—200 *мвт*), работающие без дополнит. теплоотвода, средней мощности (0,5—10 *вт*), допускающие работу с дополнит. радиатором или без него, и мощные (30—150 *вт*), используемые исключительно с теплоотводом. При повышении темп-ры окружающей среды предельная мощность рассеяния изменяется по закону: $P_{макс}(T°_{окр}) = (T°_{окр} - 20°)/R_т$. Величина $R_т$ может колебаться от 0,5 $\frac{град}{мвт}$ у мощных транзисторов до 3 $\frac{град}{вт}$ у маломощных. Для транзисторов с конвекц. механизмом охлаждения характерно дополнит. снижение рассеиваемой мощности на 25—35% при падении атм. давления до 5 *мм рт. ст.* Работа при наибольшей рассеиваемости мощности (наиболее тяжелый эксплуатац. режим) служит основным средством проверки долговечности и надежности транзистора.

Наибольшая температура коллекторного перехода $T_{к\,макс}$, при к-рой изменение параметров транзистора не превышает установл. норм, есть основной показатель, по к-рому устанавливаются остальные предельно допустимые режимы работы транзистора (мощность, напряжение, ток) и его тепловое сопротивление. Величина $T_{к\,макс}$ устанавливается существенно ниже темп-ры плавления коллекторного сплава и проверяется длительными испытаниями транзистора на надежность.

При работе в условиях, близких к $T_{к\,макс}$ (по сравнению с комнатной темп-рой), независимо от способа разогрева (подведением тепла извне или рассеиванием электрич. мощности) повышается частота отказов в 10—100 и более раз.

Интенсификация процессов проявления нестабильностей и необратимость эффектов старения в результате длит. (до 100 час.) выдержки при темп-ре, близкой к $T_{к\,макс}$, обусловили введение подобной тренировки для ряда типов транзисторов повышенной надежности (см. *Надежность полупроводниковых приборов*).

Лит.: Яковчук Н. С., Челноков В. Е., Гейфман М. П., Плоскостные транзисторы, Л., 1961; Федотов Я. А., Основы физики полупроводниковых приборов, М., 1963. *А. А. Зайцев.*

2) Импульсные параметры, характеризующие работу транзистора в импульсных и переключающих схемах автоматики, ЭВМ и др., могут быть разделены на две группы.

а) Параметры, характеризующие длительности переходных процессов: зарядные емкости коллекторного и эмиттерного переходов $C_к$, $C_э$, предельная частота усиления по току $f_α$, граничная частота f_T, сопротивление базы $R_б$, постоянная времени обратной связи $r'_б \cdot C_к$ и *время переключения*. Для транзисторов с неоднородной базой и высокоомным коллектором, у к-рых накопленный заряд в режиме насыщения расположен в теле коллектора, хар-кой переходных процессов (в режиме насыщения) в ключевой схеме, управляемой генератором тока (взамен времени переключения), служит время рассасывания $t_р$. Близко к «зарядным» параметрам K_s — отношение заряда к току, при отсутствии напряжения на коллекторе. С его помощью можно рассчитывать длительность переходных процессов для транзисторов, у к-рых накопление происходит в базовой области; K_s в этом случае играет роль эффективного времени жизни неосновных носителей заряда в области базы в режиме насыщения.

б) Параметры, характеризующие транзисторный ключ в стационарном положении: обратные токи коллекторного и эмиттерного переходов $I_{ко}$ и $I_{эо}$, статич. коэфф. усиления по току в схеме с общим эмиттером $B_{ст}$, остаточное напряжение на коллекторе насыщенного транзистора $U_{кн}$ либо сопротивление насыщения $R_н = U_{кн}/I_к$, напряжение на входе транзистора $U_{вх}$ при заданных значениях входного и выходного токов в схеме с общим эмиттером.

Перечисл. параметры (за исключением времени переключения, к-рое в большой степени является схемнозависимым) определяются основными св-вами материалов и геометрич. соотношениями в транзисторе: от толщины базы зависит $f_α$; от площади переходов и сопротивления материалов — $U_{эб}$, $C_э$, $C_к$, $r'_б$ и $r'_б \cdot C_к$; от эффективного времени жизни и частоты поверхности — $I_{ко}$, $I_{эо}$ и $B_{ст}$; от сопротивления тела коллектора — $U_{кн}$ и $R_н$; от эффективного времени жизни носителей заряда в режиме насыщения — $t_р$.

См. также *Транзисторов скоростные характеристики*.

Лит.: Маранц В. Г., Маркович М. И., Петрова Л. П., в сб.: Полупроводниковые приборы и их применение, под ред. Я. А. Федотова, вып. 6, М., 1960; Самохвалов М. М., Германиевые сплавные диффузионные триоды, М.—Л., 1962; Sparkes J. J., «Proc. I. R. E.», 1960, v. 48, № 10, p. 1696—1705; Johnston R. C., Burke R. L., «Semicond. Prod.», 1960, v. 3, № 2, p. 43—46; Nanavati R. P., «IRE Trans. Electron Devices», 1960, v. ED-7, № 1, p. 9—15; Moll J. L., «Proc. I. R. E.», 1954, v. 42, № 12, p. 1773—84. *В. Г. Маранц.*

3) Параметры транзистора как эквивалентного четырехполюсника — коэфф. ур-ний, связывающих аналитич. зависимостью токи и напряжения во входной и выходной цепях транзистора, включенного по выбранной схеме (с общими: базой, эмиттером или коллектором, при работе в режиме малого сигнала). Эти зависимости обычно даются в виде вольтамперных хар-к, в заданной рабочей точке к-рых транзистор можно рассматривать как активный линейный четырехполюсник, характеризующийся 4 параметрами: $U_{вх}$, $U_{вых}$, $I_{вх}$ и $I_{вых}$. Соответствующие ур-ния могут быть записаны след. образом:

$$\left.\begin{aligned} U_1 &= z_{11}I_1 + z_{12}I_2; \\ U_2 &= z_{21}I_1 + z_{22}I_2. \end{aligned}\right\} \quad (1)$$

$$\left.\begin{aligned} I_1 &= y_{11}U_1 + y_{12}U_2; \\ I_2 &= y_{21}U_1 + y_{22}U_2. \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

$$\left.\begin{aligned} U_1 &= h_{11}I_1 + h_{12}U_2; \\ I_2 &= h_{21}I_1 + h_{22}U_2. \end{aligned}\right\} \quad (3)$$

Коэфф., входящие в систему ур-ний (1), получили назв. z-параметров, в систему (2) — y-параметров, в систему (3) — h-параметров.

Эти параметры, измеренные на малом уровне перем. тока, имеют след. физ. смысл:

z_{11} — входное полное сопротивление при хх на выходе;

z_{12} — полное сопротивление обратной передачи при хх на входе;

z_{21} — полное сопротивление прямой передачи при хх на выходе;

z_{22} — выходное полное сопротивление при хх на входе;

y_{11} — входная полная проводимость при кз на выходе;

y_{12} — полная проводимость обратной передачи при кз на входе;

y_{21} — полная проводимость прямой передачи при кз на выходе;

y_{22} — выходная полная проводимость при кз на входе;

h_{11} — входное полное сопротивление при кз на выходе;

h_{12} — обратная величина коэфф. усиления по напряжению при хх на входе;

h_{21} — коэфф. усиления по току при кз на выходе;

h_{22} — выходная полная проводимость при хх на входе.

z-параметры на НЧ наз. r-параметрами, а y-параметры — g-параметрами.

В зависимости от схемы включения транзистора индексы токов и напряжений (1 и 2) заменяются индексами (начальными буквами) соответствующих электродов транзистора,

Таб л. 3. Характерные температурные пределы работы транзисторов

Параметр	Германий (°С)	Кремний (°С)
Темп-ра плавления . . .	958	1412
Наибольшая темп-ра:		
коллекторного перехода	85—100	150—200
окружающей среды в рабочих условиях . .	70—90	125—175

к-рые образуют входную или выходную цепи, а к индексам коэфф. ур-ний добавляется индекс схемы включения. Напр., ур-ния (1) для схемы с общим эмиттером запишутся так: $U_б = z_{11э} I_б + z_{12э} I_к$, $U_к = z_{21э} I_б + z_{22э} I_к$. Следовательно, $z_{11э}$ — полное входное сопротивление базовой цепи при пост. токе коллектора.

a transistor: caractéristiques statiques d'un transistor; statische Kennwerte eines Transistors) — семейства кривых, выражающие взаимосвязь между установившимися значениями токов и напряжений во входной и выходной цепях транзистора.

Т. с. х. делятся на ряд видов (табл.); при

Система параметров / роль тока и напряжения / вид семейства кривых	z-параметры (система сопротивлений)			y-параметры (система проводимостей)			h-параметры (гибридная система)		
	аргумент	ф-ция	параметр	аргумент	ф-ция	параметр	аргумент	ф-ция	параметр
Входные хар-ки	$I_{вх}$	$U_{вх}$	$I_{вых}$	$U_{вх}$	$I_{вх}$	$U_{вых}$	$I_{вх}$	$U_{вх}$	$U_{вых}$
Выходные хар-ки	$I_{вых}$	$U_{вых}$	$I_{вх}$	$U_{вых}$	$I_{вых}$	$U_{вх}$	$U_{вых}$	$I_{вых}$	$I_{вх}$
Хар-ки прямой передачи	$I_{вх}$	$U_{вых}$	$I_{вых}$	$U_{вх}$	$I_{вых}$	$U_{вых}$	$I_{вх}$	$I_{вых}$	$U_{вых}$
Хар-ки обратной связи	$I_{вых}$	$U_{вых}$	$I_{вх}$	$U_{вых}$	$I_{вх}$	$U_{вх}$	$U_{вых}$	$U_{вх}$	$I_{вх}$

Часто ур-ния, описывающие активный линейный четырехполюсник, даются в матричной форме:

$$\begin{vmatrix} U_1 \\ U_2 \end{vmatrix} = \begin{vmatrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{vmatrix} \begin{vmatrix} I_1 \\ I_2 \end{vmatrix}.$$

Поскольку все параметры, входящие в ур-ния (1), (2), (3), относятся к одному четырехполюснику, то они связаны между собой. Ф-лы перехода от одних параметров к другим, измеренных в одной системе включения, приведены в табл. 4.

Таблица 4

	|z|	|y|	|h|
|z|	$\begin{matrix} z_{11} & z_{12} \\ z_{21} & z_{22} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{y_{22}}{\Delta^y} & -\frac{y_{12}}{\Delta^y} \\ -\frac{y_{21}}{\Delta^y} & \frac{y_{11}}{\Delta^y} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{\Delta^h}{h_{22}} & \frac{h_{12}}{h_{22}} \\ -\frac{h_{21}}{h_{22}} & \frac{1}{h_{22}} \end{matrix}$
|y|	$\begin{matrix} \frac{z_{22}}{\Delta^z} & -\frac{z_{12}}{\Delta^z} \\ -\frac{z_{21}}{\Delta^z} & \frac{z_{11}}{\Delta^z} \end{matrix}$	$\begin{matrix} y_{11} & y_{12} \\ y_{21} & y_{22} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{1}{h_{11}} & -\frac{h_{12}}{h_{11}} \\ \frac{h_{21}}{h_{11}} & \frac{\Delta^h}{h_{11}} \end{matrix}$
|h|	$\begin{matrix} \frac{\Delta^z}{z_{22}} & \frac{z_{12}}{z_{22}} \\ -\frac{z_{21}}{z_{22}} & \frac{1}{z_{22}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} \frac{1}{y_{11}} & -\frac{y_{12}}{y_{11}} \\ \frac{y_{21}}{y_{11}} & \frac{\Delta^y}{y_{11}} \end{matrix}$	$\begin{matrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{matrix}$

Примечание. $\Delta^m = m_{11}m_{22} - m_{12}m_{21}$ — определитель соответствующей матрицы, например $\Delta^z = z_{11}z_{22} - z_{12}z_{21}$.

Система h-параметров получила более широкое распространение из-за удобств измерения, чем системы z- и y-параметров. Объясняется это след. причинами. Выходное сопротивление коллекторной цепи больше по сравнению с внутр. сопротивлением источника коллекторного питания. Следовательно, более удобно выбрать коллекторное напряжение в качестве независимого переменного. С другой стороны, входное сопротивление транзистора ниже, чем внутр. сопротивление источника базового питания; поэтому входной цепью легче управлять током. Следовательно, более удобно выбрать ток в качестве независимого переменного.

На основе систем ур-ний (1), (2), (3) можно построить различные *транзистора эквивалентные схемы*.

Ю. В. Китлер.

ТРАНЗИСТОРА СТАТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (steady state characteristics of

этом ток и напряжение принимаются в качестве переменных или параметра в зависимости от выбранной системы (см. также *Транзистора параметры*, *Транзистора эквивалентная схема*).

В соответствии с тремя схемами включения транзистора входным и выходным электродами служат: эмиттер и коллектор в схеме с общей базой, база и коллектор в схеме с общим эмиттером, база и эмиттер в схеме с общим коллектором. Большое практич. значение имеют семейства входных и выходных хар-к в схеме с общим эмиттером (рис. 1).

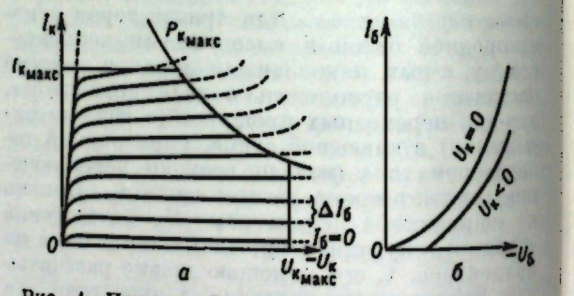


Рис. 1. Примерный вид статических характеристик транзисторов в схеме с общим эмиттером: *а*—входные; *б*—выходные ($U_к$ и $U_б$ — напряжение на коллекторе и базе; $I_к$ и $I_б$ — ток коллектора и базы).

Т. с. х. имеют три четко выраженные области, соответствующие различному характеру распределения концентрации неосновных носителей заряда в базе (рис. 2): отсечки, активную и насыщения. В области отсечки оба перехода находятся под обратным напряжением и через них текут обратные токи от долей до единиц *мка*. Режим отсечки соответствует разомкнутому положению эквивалентного ключа при работе транзистора в схемах переключения. Осн. параметры этой области хар-к — обратные токи переходов $I_{ко}$ и $I_{эо}$. Активная область характерна прямым смещением эмиттерного и обратным — коллекторного переходов, что соответствует протеканию через транзистор хорошо управляемого тока значит. величины. Осн. параметрами активной области, в к-рой располагается рабочая точка при работе транзистора, напр. в усилительных или генераторных режимах, служат параметры

физ. схем замещения (α, f_α, $C_к$, $r_б$ и т. п.) или эквивалентного четырехполюсника (h_{11}, h_{12}, h_{21}, h_{22}). В области насыщения оба перехода смещены в прямом направлении и токи

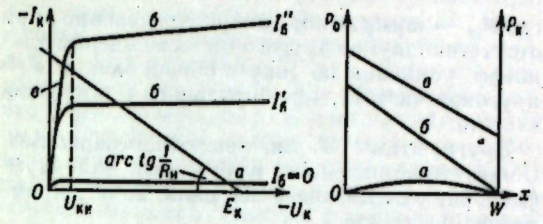


Рис. 2. Основные области характеристик транзистора, соответствующие распределению концентрации носителей заряда: *а*—область отсечки; *б* — активная область; *в* — область насыщения ($E_к$ — напряжение питания; $U_{кн}$ — напряжение насыщения; $R_н$ — сопротивление нагрузки; p_0 и $p_к$ — концентрация дырок вблизи эмиттера и коллектора; W — толщина базы; x — координата).

переходов особенно велики, однако эмиттерный переход теряет управляющее действие: ток коллектора определяется только параметрами выходной цепи. Режим насыщения соответствует открытому состоянию ключевых схем и характеризуется малыми сопротивлениями входной и выходной цепей транзистора (от тысячных долей до десятков *ом*).

Для снятия Т. с. х. наряду со статич. методом широко применяются различного рода характериографы, позволяющие фотографировать семейства хар-к непосредственно с осциллографич. экрана.

А. А. Зайцев.

ТРАНЗИСТОРА ЧАСТОТНЫЕ СВОЙСТВА (frequency properties of transistor; caractéristiques fréquentielles de transistor; Frequenzkennwerte von Transistor) — изменение способности транзистора усиливать электрич. сигналы разной частоты. Т. ч. с. обусловлены внутр. физич. явлениями в транзисторе. Фундаментальным фактором, ограничивающим частотный предел работы транзистора, является конечное *время полета носителей заряда* между эмиттером и коллектором. В транзисторах с однородной базой осуществляется *диффузия носителей заряда* (неосновных) из приэмиттерной области (с повышенной их концентрацией) к коллекторному переходу. Поэтому с ростом частоты переменная составляющая коллекторного тока уменьшается и запаздывает по отношению к переменной составляющей тока эмиттера. На рис. показана зависимость модуля и фазы, коэфф. передачи тока через базу от частоты, типичная для сплавных транзисторов.

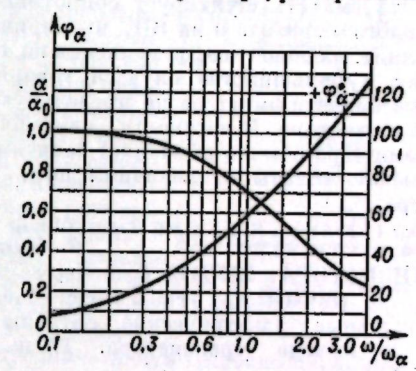
В качестве осн. параметра, характеризующего частотные св-ва транзистора, обычно используют частоты f_α и $f_т$ (см. *Транзистора параметры*). Для транзистора с однородной базой и плоско-параллельными электродами предельная частота связана с физ. параметрами структуры транзистора:

$$f_\alpha = \frac{2{,}43D}{2\pi W^2}, \qquad (1)$$

где D — коэфф. диффузии неосновных носителей в базе, W — толщина базы.

Коэфф. диффузии D служит параметром ПП материала, а минимально достижимое значение толщины базы определяется технологией производства транзистора. Кроме того, для нек-рых типов транзисторов подбором распределения примесей по толщине базы в ней удается получить электрич. поле, к-рое существенно ускоряет движение неосновных носителей заряда от эмиттера к коллектору и позволяет в 1,5—3 раза повысить предельную частоту *транзистора дрейфового* при той же толщине базы.

Для ВЧ транзисторов вместо параметра f_α используется параметр $f_т$ — граничная ча-



Зависимость модуля и фазы от частоты для сплавных транзисторов: α— коэфф. передачи тока через базу; α_0—НЧ значение коэфф. усиления по току; φ_α — фазовый угол; ω— частота; ω_α — предельная частота.

стота (это обусловлено удобством его измерения). Первый и второй связаны соотношением:

$$f_\alpha = kf_т, \qquad (2)$$

где k — численный коэфф., равный 1,2—1,9.

Однако оценка частотных свойств транзистора только по предельной частоте недостаточна. С ростом частоты падает способность транзистора к усилению мощности; поэтому лучшим критерием частотного предела работы транзистора служит макс. частота $f_{макс}$, т. е. такая частота, на к-рой максимально достижимый коэфф. усиления по мощности уменьшается до 1. Значение коэфф. усиления по мощности на частотах ниже $f_{макс}$ не может служить однозначной хар-кой частотных свойств транзистора. Анализ макс. частоты транзистора производится на базе теории U-функции [1]. Для бездрейфового транзистора макс. частота выражается через параметры транзистора:

$$f_{макс} = \sqrt{\frac{\alpha_0 f_\alpha}{30 r'_б C_к}}, \qquad (3)$$

где $r'_б$ — омич. сопротивление базы, $C_к$ — емкость коллекторного перехода.

Для дрейфовых транзисторов, у к-рых f_α и $f_{макс}$ не сильно различаются между собой, также может быть использована ф-ла (3). В более общем случае для расчета $f_{макс}$ графически или аналитически вычисляют зависимость U-функции от частоты, а затем определяют $f_{макс}$ по тому значению частоты, на к-рой U обращается в 1. Из ф-лы (3) видно, что для хар-ки частотных свойств транзистора необходимо знать сопротивление базы (основной источник активных потерь), а также емкость коллектора, обусловливающую рост выходной проводимости транзистора на ВЧ. На практике вместо параметра $r'_б$ по соображениям удобства измерения используется параметр

$r'_б C_к$ — постоянная времени выходной цепи транзистора. Достижение малого значения этого параметра при наличии тонкой базы представляет собой одну из основных проблем при создании ВЧ транзисторов.

Среди др. параметров транзистора, ограничивающих его частотный предел, следует отметить зарядную емкость эмиттерного перехода. Эта емкость шунтирует сопротивление эмиттерного перехода и на ВЧ, что приводит к дополнит. падению коэфф. усиления по току. Поэтому в большинстве случаев говорят о влиянии емкости эмиттера на предельную частоту транзистора. В частности, влияние емкости эмиттера обычно объясняет зависимость предельной частоты от величины пост. тока эмиттера.

Лит.: 1) Mason S. J., «IRE Trans. Circuit Theory», 1954, v. CT-1, № 2. *В. Л. Аронов.*

ТРАНЗИСТОРА ШУМЫ (transistors noise; bruits de transistor; Transistorrauschen) — беспорядочные электрические сигналы на входе и выходе транзистора. Т. ш. подразделяются на 4 типа: тепловые флуктуации распределения концентрации электронов и дырок в ПП материале транзистора (эти флуктуации могут иметь место и в отсутствие тока); дробовой шум тока, протекающего через электронно - дырочные переходы, флуктуации токораспределения и т. н. фликкер-эффект. Природа фликкер-эффекта еще окончательно не выявлена. Частотный спектр его обратно пропорционален частоте. Частота, на которой фликкер-шумы сравнимы с другими типами Т. ш., зависит от предельной частоты транзистора, примесей в ПП (особенно атомов золота) и обработки поверхности. У транзисторов П13—П15 она соответствует 1 *кгц*, П401—П403 и П416—100 *кгц*, а для 1Т308—500 *кгц*. Частотной зависимостью обладают также шумы токораспределения. Частотный закон для этих шумов определяется выражением:

$$F_ш = 1 + \frac{1}{1-\alpha_0}\left(\frac{\omega}{\omega_\alpha}\right)^2, \qquad (1)$$

где $F_ш$ — *шумфактор* токораспределения, при отсутствии шумов другого происхождения α_0 — коэфф. усиления по току с общей базой, ω — круговая частота, ω_α — предельная круговая частота.

Другие типы Т. ш. частотнонезависимы. Общее приближенное выражение для шумфактора, учитывающее все виды Т. ш., кроме фликкер-эффекта,

$$F_ш = 1 + \frac{kT}{2qI_э\alpha_0 R_г} + \frac{r'_б}{\alpha_0 R_г} + \frac{qI_э\left(R_г + r'_б\right)^2}{2kTR_г}\cdot\frac{\alpha_0}{1-\alpha_0}\left[1 + \frac{1}{1-\alpha_0}\left(\frac{\omega}{\omega_\alpha}\right)^2\right], \qquad (2)$$

где k — постоянная Больцмана, T — темп-ра, $R_г$ — сопротивление генератора сигнала на входе транзистора, q — заряд электрона, $r'_б$ — сопротивление базы, измеренное со стороны эмиттера, $I_э$ — ток эмиттера.

Величина средних значений шумфактора транзисторов на частотах

$$f_н < f < \frac{\omega_\alpha}{2\pi}\sqrt{1-\alpha_0}, \qquad (3)$$

где $f_н$ — наинизшая частота, на к-рой фликкер-шумами можно пренебречь, приведены в таблице.

Тип транзистора	$F_ш$	Тип транзистора	$F_ш$
П13—П15	10—14 *дб*	П 416	3—4 *дб*
1Т 308	4—5 »	П 403	5—7 »

Примеры зависимости шумфактора от частоты и режима приведены на графиках (рис. 1, 2) для транзистора П 416.

Порядок вычисления фактора шума в указанной области частот (3):

а) оптим. сопротивление генератора сигнала

$$R_{гопт} = \sqrt{\frac{r_э\left(2r'_б + r_э\right)}{1-\alpha_0+(f/f_\alpha)^2} + \left(r'_б\right)^2}; \qquad (4)$$

б) фактор шума по упрощенной ф-ле:

$$F_ш = 1 + \frac{r_э}{2\alpha_0 R_г} + \frac{2qI_э\left(R_г + r'_б\right)^2}{4kTR_г} + \frac{r'_б}{\alpha_0 R_г}, \qquad (5)$$

где $r_э = kT/qI_э$ — дифференц. сопротивление эмиттерного перехода.

О шумах в ПП диодах и лит. см. при ст. *Флуктуационные процессы в электронных приборах* *Н. М. Ройзин, В. Ф. Фокина.*

ТРАНЗИСТОРА ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СХЕМА (equivalent circuits of transistors; schema équivalent des transistors; Transistoren-Schaltbild) — электрич. схема замещения транзистора при помощи активных и реактивных сопротивлений (проводимостей) и управляемых генераторов, эквивалентная относительно связи токов и напряжений во входной и выходной цепях транзистора.

Все известные типы Т. э. с. можно условно разделить на две группы: 1) формальные эквивалентные схемы, описывающие поведение

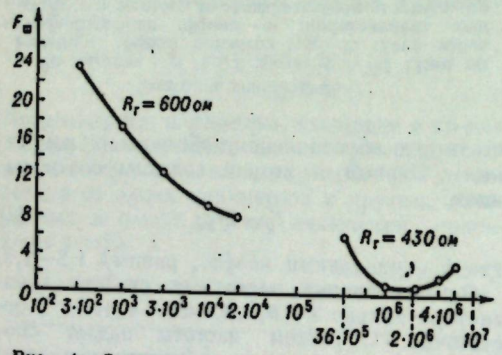


Рис. 1. Зависимость шумфактора транзистора $F_ш$ от частоты f, измеренная при напряжении на коллекторе $U_к = -5$ *в*.

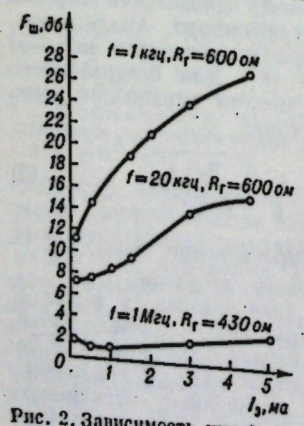


Рис. 2. Зависимость шумфактора транзистора $F_ш$ от измеряемого тока эмиттера $I_э$, при напряжении на коллекторе $U_к = -5$ *в*.

транзистора как линейного четырехполюсника в электрич. схеме; 2) эквивалентные схемы, вид к-рых определяется стремлением наглядно показать механизм работы транзистора; при этом независимые физ. явления выделяются и изображаются как самостоят. элементы. Ряд известных Т. э. с. занимает промежуточное положение. Это объясняется тем, что формальные Т. э. с. весьма просты и могут быть приведены к такому виду, к-рый наиболее удобен для расчета конкретной схемы. Однако элементы формальной Т. э. с. сложным образом зависят от частоты, режима и темп-ры. Эти зависимости оказываются разными для различных типов транзисторов, а также для одного типа транзисторов в пределах технологич. разброса их параметров. Поэтому, прежде чем удается использовать такую Т. э. с. для расчета, необходимо предварительно провести измерения ее параметров в избранном диапазоне рабочих условий (частота, режим напряжений и токов, темп-ра) либо пересчитать эти зависимости из др. эквивалентной схемы.

На рис. 1 даны 3 наиболее часто применяемые формальные Т. э. с. На рис. 1,*а* дана схема системы *y*-параметров четырехполюсника;

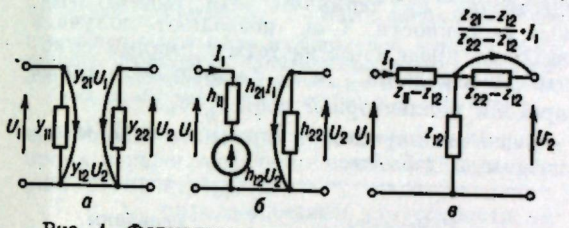


Рис. 1. Формальные эквивалентные схемы транзисторов.

на рис. 1,*б* — гибридных или *h*-параметров. Транзистор, как правило, представляет собой четырехполюсник с малым входным и большим выходным сопротивлением; поэтому с ним легко осуществить эти опыты. Последние и необходимы для определения *h*-параметров. Т. о., эквивалентная схема рис. 1,*б* в наибольшей степени доступна непосредств. эксперимент. исследованию. Т. э. с. на рис. 1,*в* также формальны с той точки зрения, что все ее параметры могут быть определены из 4 опытов хх и кз; однако вид этой схемы в наибольшей степени приближен к физ. Т.э.с. с общей базой.

Существует еще большое число формальных эквивалентных схем четырехполюсников, к-рые в принципе могут быть применены к транзисторам. Все формальные эквивалентные схемы тождественно преобразуются одна в др., если использовать матричные методы. В отличие от формальных, эквивалентные схемы, построенные на базе представлений о физ. природе процессов, происходящих в транзисторе, составляются из элементов, к-рые либо не зависят от частоты, режима по пост. току и темп-ры, либо изменяются в зависимости от этих внешних условий по заранее известным законам. Это обстоятельство позволяет при конструировании конкретных радиотехнич. схем использовать имеющиеся справочные материалы и полностью исключить или свести к минимуму объем индивидуальных измерений параметров транзисторов в процессе проектирования схемы. Однако физ. Т. э. с. оказываются, как правило, сложными и состоят из большого количества элементов, что сильно затрудняет их использование.

На рис. 2 изображена эквивалентная схема сплавного транзистора [3]. Пунктирной линией показана часть схемы, описывающая теоретич. модель транзистора. Выделение такой модели носит иск. искусств. характер, однако это позволяет провести до конца теоретич. расчет диффуз. ур-ния в базовой области при сравнительно немногочисленных и физически оправданных идеализациях. Основные допущения при анализе теоретич. модели транзистора сводятся к: 1) электроды транзистора предполагаются плоско-параллельными; 2) краевые эффекты не рассматриваются; 3) поперечное сопротивление базы предполагается пренебрежимо малым; 4) исключаются зарядные емкости обоих переходов. В качестве модели рассмотрен транзистор с p—n—p-структурой. Для частот, меньших половины предельной частоты транзистора, получены след. выражения для параметров четырехполюсника теоретич. модели:

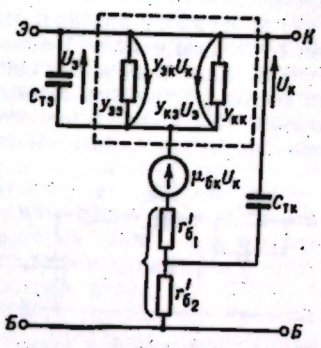


Рис. 2. Эквивалентная схема сплавного транзистора.

$$y_{ээ} = g_{ээ}\frac{1+j\omega/\omega_\alpha}{1+j^{1}/_{3}\omega/\omega_\alpha}; \quad y_{кэ} = \frac{-\beta_0 g_{ээ}}{1+j^{1}/_{3}\omega/\omega_\alpha};$$

$$y_{эк} = \frac{-\beta_0 g_{кк}}{1+j^{1}/_{3}\omega/\omega_\alpha}; \quad y_{кк} = g_{кк}\frac{1+j\omega/\omega_\alpha}{1+j^{1}/_{3}\omega/\omega_\alpha};$$

где: $\omega_\alpha = 2D_р/W_0^2$; $\beta_0 = 1 - \frac{1}{2}\frac{W_0^2}{D_р\tau_р}$; $g_{ээ} = \frac{qI_э}{kT}$;

$g_{кк} = -\frac{1}{W}\frac{\partial W}{\partial U_к}I_{рк}\left(1 + \frac{1}{2}\frac{W_0^2}{D_р\tau_р}\right)$; $I_э$ — ток эмиттера; W — толщина базы; W_0 — среднее значение толщины базы; $U_к$ — напряжение на коллекторном переходе; $I_{рк}$ — дырочная составляющая тока коллектора; ω_α — предельная частота транзистора (круговая); β_0 — коэфф. передачи тока через базу для НЧ; $D_р$ — коэфф. диффузии для дырок; $\tau_р$ — эффективн. время жизни дырок в базе; q — заряд электрона; k — постоянная Больцмана.

Влияние поперечного сопротивления базовой области ($ББ$) отражено на эквивалентной схеме рис. 2 с помощью сосредоточ. сопротивлений $r''_{б_1}$ и $r''_{б_2}$. Зарядные емкости эмиттера $Э$ и коллектора $К$ описываются сосредоточ. емкостями $C_{тэ}$ и $C_{тк}$. Емкость коллекторного перехода подключена к сопротивлению базы т. о., чтобы отразить важную конструктивную особенность транзисторов, имеющих площадь коллектора бо́льшую, нежели площадь эмиттера.

Элемент обратной связи в базовой ветви Т. э. с. $\mu_{бк}$ описывает модуляцию сопротивления базы $r'_б$ в результате расширения слоя объемного заряда при увеличении напряжения на коллекторе:

$$\mu_{бк} = I_б\frac{\partial r'_б}{\partial W}\cdot\frac{\partial W}{\partial U_к},$$

где $I_б$ — базовый ток.

Параметры эквивалентной схемы: ω_α, β_0, $g_{кк}$, $\mu_{бк}$, $C_{тэ}$, $C_{тк}$, $r_{б1}$, $r_{б2}$ можно рассчитать, зная физ. параметры структуры транзистора и его геометрию.

Т. э. с. рис. 2 оказалась источником многочисл. модификаций. Наиболее часто используемая физ. эквивалентная схема получается путем упрощения схемы рис. 2, применительно к области сравнительно ВЧ. Часто эквивалентные схемы такого типа наз. Т-образными, хотя их надо отличать от упоминавшейся выше формальной Т-образной эквивалентной схемы. Изображенная на рис. 3 в качестве примера эквивалентная схема отражает особенности дрейфовых транзисторов, изготовленных методом диффузии примесей в ПП. В частности, емкость $C_п$ в эквивалентной схеме отражает периферийную емкость коллекторного перехода. Последоват. сопротивление тела коллектора играет существ. роль для транзисторов этого класса; оно описывается в эквивалентной схеме сопротивлением $r_к$. Основной транзисторный эффект — переход носителей через базу — отражается в эквивалентной схеме зависимым источником тока $\alpha i_э$ (α — коэфф. передачи тока через базу). Частотная зависимость модуля и фазы α для транзисторов каждого типа обычно задается графич. или аналитич. зависимостью. Для транзистора в схеме с общим эмиттером часто применяются схемы типа «гибрид-П» [4]. На рис. 4 показана типичная конфигурация эквивалентной схемы этого типа ($У_Г$, $У_В$, $У_С$ и $У_F$ — параметры схемы). Элементы этой схемы допускают лишь огранич. физ. интерпретацию.

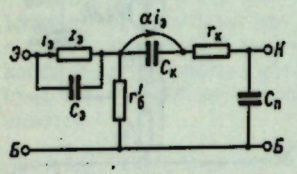


Рис. 3. Эквивалентная схема дрейфового транзистора.

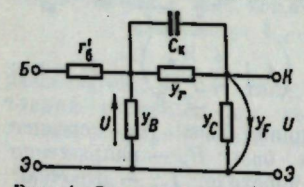


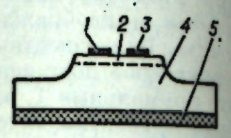
Рис. 4. Эквивалентная схема типа «Гибрид-П» для транзистора.

Перечисл. эквивалентные схемы применимы, строго говоря, лишь для анализа транзисторов на малом сигнале; однако известны попытки представить эквивалентную схему транзистора для работы на большом сигнале [5], к-рые имеют очень огранич. применение. (Описание параметров транзистора, как активного четырехполюсника, см. *Транзистора параметры*).

Лит.: 1) Каменецкий Ю. А., Эквивалентные схемы кристаллических триодов, в сб.: Полупроводниковые приборы и их применение, вып. 2, М., 1957, с. 78; 2) Миддлбрук Р. Д., Введение в теорию транзисторов, пер. с англ., М., 1960; 3) Early J. M., Design theory of junction transistors, «Bell System Techn. J.», 1953, v. 32, № 6, p. 1271; 4) Giacoletto L. J., Study of P-N-P alloy junction transistor from D—C through medium frequencies, «RCA Rev.», 1954, v. 15, № 4, p. 506; 5) Ebers J. J., Moll J. L., Large-signal behavior of junction transistors, «Proc. I. R. E.», 1954, v. 42, № 12, p. 1761.

В. Л. Аронов.

ТРАНЗИСТОР-МЕЗА (transistor-meza; transistor-mésa; Mesa-Transistor) — *транзистор дрейфовый* с меза-структурой (рис.), применяемой для уменьшения площади электродов и объема пассивной части базовой области. Групповой метод изготовления неск. сотен меза-структур на одной пластине ПП с помощью совмещающихся шаблонов удобен для автоматизации. Применение хорошо контролируемых процессов диффузии, нанесения металлич. пленок испарением в вакууме и т. д. позволяет получать тонкие — менее *мк* — базовые слои. Использование точных шаблонов и *фотолитографии* дает возможность уменьшить площади электродов до 10^{-6} *см*^{2} и изготавливать базовые и эмиттерные электроды в виде тонких параллельных полос. Наиболее высокие *транзистора параметры* получены на ПП с эпитаксиальными слоями, при применении к-рых удалось совместить малую емкость и высокое пробивное напряжение коллекторного перехода с малым сопротивлением открытого Т.-м.



Структура меза-транзистора: *1* — эмиттерный электрод (Al); *2* — диффузионный базовый слой (n+); *3* — базовый электрод; *4* — исходный Ge или Si (p); *5* — рекристаллизов. слой коллектора (p+).

Т.-м. с электродами, полученными испарением в вакууме, изготавливаются преимущественно на *германии*. Эти конструктивные особенности Т.-м. позволяют получать высокие предельные частоты f_α, малые емкости электродов $C_к$ и $C_э$, малые постоянные времени коллекторной цепи $r'_б \cdot C_к$.

Значения параметров германиевых Т.-м. показаны в таблице.

Параметры	Величины
Мощность рассеивания . . .	50 *мвт* — 2 *вт*
Напряжение коллектора . .	15—30 *в*
Ток коллектора	20—500 *ма*
Коэфф. усиления по току на НЧ	0,95—0,99
Произведение коэфф. усиления на полосу усиливаемых частот	400—2000 *мгц*
Емкость коллектора	1—5 *пф*

Т.-м. предназначены для применения в усилителях ВЧ и в импульсных схемах.

А. Б. Полянов.

ТРАНЗИСТОРОВ СКОРОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ (switching speed of transistors; caractéristiques de vitesse des transistors; Geschwindigkeitsverhalten von Transistoren) — совокупность параметров транзистора, определяющих длительность переходных процессов (см. также *Транзистора параметры*). Переходные процессы в *транзисторе* связаны, в первую очередь, с диффуз. механизмом переноса носителей заряда (неосновных) через область базы. Как следствие этого происходит накопление носителей заряда в объеме базы. Переход из одного стационарного состояния в другое означает изменение величины заряда, накопленного в области базы, и поэтому не может произойти мгновенно (рис. 1). Кроме того, изменение напряжений на переходах в процессе переключения связано с необходимостью перезарядки барьерных емкостей.

Процесс накопления заряда в базовой области с учетом емкостных токов переходов описывается ур-нием:

$$\frac{dQ_б}{dt} = -\frac{Q_б}{\tau} + I_б - C_э(U)\frac{dU_э}{dt} - C_к(U)\frac{dU_к}{dt}, \quad (1)$$

где $C_к$ и $C_э$ — барьерные емкости переходов. Каждому значению тока коллектора соответствует вполне определ. заряд в области базы и поэтому

$$\frac{Q_б(I)}{I_к(I)} = \tau_{пр} = \int_0^{w_б} \frac{dx}{v(x)} = \frac{1}{\omega_т}\Big|_{\text{при } t > \frac{\tau_{пр}}{5} \approx t_{пер}}, \quad (2)$$

где $\tau_{пр}$ — эффективное время пролета неосновных носителей через область базы; $\omega_т$ — частота, на к-рой модуль коэфф. усиления по току в схеме с общим эмиттером равен 1; $w_б$ — толщина базовой области; $v(x)$ — скорость движения неосновных носителей в области базы; $t_{пер}$ — время перераспределения носителей или задержка распространения.

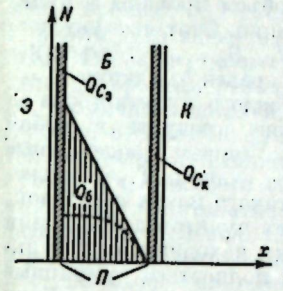


Рис. 1. Распределение концентрации N неосновных носителей в области базы транзистора, переключенного из режима отсечки в активный режим: *Э* — эмиттер; *Б* — база; *К* — коллектор; $Q_б$ — заряд неосновных носителей в области базы; $Q_{C_к}$ — заряд, необходимый для изменения напряжения на барьерной емкости коллекторного перехода; $Q_{C_э}$ — заряд, необходимый для изменения напряжения на барьерной емкости эмиттерного перехода *П*; пунктирная кривая — распределение концентрации неосновных носителей в области базы дрейфового транзистора; x — расстояние.

Т. с. х., определяющими длительности переходных процессов в ненасыщенном режиме, служат $\tau_{пр}$ или граничная частота

$$f_т = f_\alpha / 1{,}22, \quad (3)$$

где f_α — предельная частота усиления по току. Согласно ур-ниям (1) и (2), $\tau/\tau_{пр} = B_{ст}$ — статич. коэфф. усиления по току (τ — эффективное время жизни неосновных носителей заряда в базе). В том случае, когда источник управляющего сигнала не является генератором тока по отношению к входному сопротивлению транзистора (к-рое при этом определяет амплитуды управляющих токов и, следовательно, длительности переходных процессов), Т. с. х. будут служить также и $R'_б$ — омич. сопротивление области базы — и параметр обратной связи $r'_б \cdot C_к$.

Начальная скорость переходных процессов определяется частотой $f_т$, величинами барьерных емкостей переходов и соотношением амплитуд входных и выходных сигналов и не зависит от τ. Поэтому τ определяет лишь самые медленные переходные процессы установления и не служит показателем реально достижимых скоростей переключения в большинстве типов схем. Наименьшая длительность переходного процесса, к-рую можно реализовать в схемах, определяется временем перераспределения $\simeq 1/5\omega_т$.

Для сплавных транзисторов характерны следующие величины указанных выше параметров: $\tau_{пр} \simeq 10^{-8}$ *сек* ($\Delta Q_б \simeq 10^{-11}$ *к/ма* тока коллектора); $f_т \simeq 20$—30 *Мгц*; $\tau \simeq 10^{-6}$ *сек*; $C_к \simeq C_э \simeq 5$ *пф*; $r'_б \approx 100$ *ом*; $r'_б \cdot C_к \approx 500$ *псек*. Транзисторы, обладающие такими хар-ками, обеспечивают в ненасыщенных ключевых схемах времена переключения (времена, характеризующие длительности фронта, затягивания плоской части и спада импульса): $t_ф \simeq 200$—300 *псек*; $t_э \simeq 5$ *нсек*; $t_с \simeq 200$—300 *нсек*.

В дрейфовых транзисторах, имеющих ускоряющее поле в области базы, механизм переноса тока не является чисто диффузионным и поэтому в базе дрейфовых транзисторов происходит относительно меньшее накопление заряда. Кроме того, технология дрейфовых транзисторов позволяет получать значительно более тонкие (до 1 *мк*) слои базы. Т.о., время пролета $\tau_{пр}$ у дрейфовых транзисторов значительно меньше и, соответственно, их скоростные хар-ки существенно выше, чем у сплавных транзисторов. Все соотношения (1), (2) и (3) остаются справедливыми и в этом случае; в ф-ле (3) коэфф. равен 1,6—1,8.

Для высокоскоростных дрейфовых транзисторов типичны след. величины параметров: $\tau_{пр} \simeq 0{,}15$ *нсек* ($\Delta Q_б \simeq 0{,}15 \cdot 10^{-12}$ *к/ма* тока коллектора); $f_т \simeq 10^3$ *Мгц*; $\tau = 10$ *нсек*; $C_э \simeq C_к < 2$ *пф*; $r'_б \simeq 10$—50 *ом*; $r'_б \cdot C_к \simeq 10$—50 *псек*. Транзисторы, обладающие такими скоростными хар-ками, обеспечивают в ненасыщенных ключевых схемах времена переключения: $t_ф < 1{,}5$ *нсек*, $t_э < 2$ *нсек* и $t_с < 2$ *нсек*.

В насыщенном режиме оба перехода транзистора смещены в прямом направлении, а ток коллектора ограничен внешней схемой; в объеме транзистора накапливается избыточный заряд (рис. 2). Ряд эффектов при выключении транзистора из насыщенного режима связан с вытеснением избыточного заряда в боковые, периферийные области транзистора. При выключении большими сигналами часть избыточного заряда выносится из транзистора очень быстро; однако существенная доля заряда, заполняющего периферийные области, остается неудаленной, несмотря на то, что ток коллектора уже спал до нуля. Достаточно теперь снять запирающий сигнал, и транзистор вновь откроется за счет потока носителей из периферийных областей. В этом суть явления самооткрывания. Вытеснение заряда в насыщенном режиме в периферийные области транзистора означает, что размеры этих областей, электрофизич. свойства материалов также служат хар-ками, определяющими скорости переходных процессов. Для сплавного транзистора, у к-рого в насыщенном режиме избыточный заряд заполняет область соединит. базы, параметром, определяющим скорости переходных процессов в насыщенном режиме, служит эффективное время жизни неосновных носителей заряда в периферийной области базы (с учетом скорости поверхностной рекомбинации). У дрейфовых транзисторов существ. часть заряда накапливается в теле коллектора. Поэтому размеры коллектора и диффузионная длина

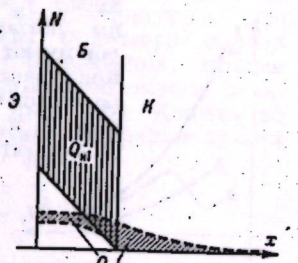


Рис. 2. Распределение концентрации неосновных носителей в насыщенном транзисторе: $Q_{н_1}$ — избыточный заряд в базе насыщенного сплавного транзистора; $Q_{н_2}$ — избыточный заряд в насыщенном дрейфовом транзисторе с высокоомным телом коллектора.

для неосновных носителей заряда (или время жизни) в теле коллектора для транзисторов дрейфового типа также служат скоростными хар-ками. Методом контроля указанных параметров периферийных областей служит измерение времени рассасывания $t_р$ (см. *Время переключения*), связанного с постоянной времени в режиме насыщения след. соотношением:

$$t_р = T_н \ln \frac{I_{б2} + I_{б1}}{I_{б2} + \frac{I_{кн}}{B_{ст}}}, \quad \text{при} \quad |I_{б2}| < |I_{кн}|, \quad (4)$$

где $T_н$ — константа насыщения, определяемая свойствами периферийных областей транзистора; $I_{б1}$ и $I_{б2}$ — включающий и выключающий токи базы; $I_{кн}$ — ток коллектора в насыщенном режиме; $B_{ст}$ — статич. коэфф. усиления по току в схеме с общим эмиттером.

С целью уменьшения $T_н$ в дрейфовых транзисторах методами эпитаксиального наращивания и встречной диффузии получают очень тонкие (5—8 *мк*) высокоомные слои в теле коллектора. Величины $T_н$ для дрейфовых транзисторов с толстым высокоомным слоем в теле коллектора (70—100 *мк*) лежат в диапазоне 0,5—1 *мсек*. Для сплавных транзисторов $T_н \gtrsim 1$—5 *мсек*. Т. е. скорости переходных процессов в ненасыщенном режиме значительно выше, чем в насыщенном. Транзисторы с встречной диффузией со стороны коллектора имеют $T_н \sim 30$ *нсек*. Лучшие типы эпитаксиальных транзисторов имеют $T_н < 5$ *нсек*. На рис. 3 приведены зависимости времени рассасывания $t_р$ от тока коллектора $I_к$ при токе базы $I_б$=const. Видно, что характер зависимости у сплавных и эпитаксиальных транзисторов близок к форме, определяемой ур-нием (4). Немонотонный характер зависимости для дрейфового транзистора с толстым высокоомным слоем в теле коллектора объясняется перераспределением избыточного заряда в поперечном направлении от эмиттерного электрода к базовому контакту при изменении тока коллектора. Поскольку инерционность переключения транзистора связана с необходимостью накопления либо рассасывания определ. зарядов, величины этих зарядов могут служить скоростными хар-ками транзистора. Однако величина зарядов, накопленных в насыщенном режиме вследствие занасания в периферийных областях транзистора, может существенно отличаться от величины зарядов, стекающих через внешние выводы при измерении. Поэтому использование «зарядных» параметров в качестве скоростных хар-к не нашло широкого распространения.

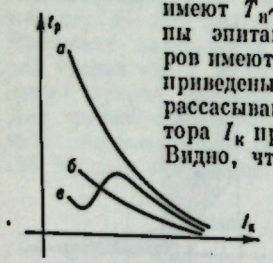


Рис. 3. Зависимость времени рассасывания от тока коллектора: *а* — для сплавного транзистора; *б* — для эпитаксиального дрейфового транзистора; *в* — для дрейфового транзистора с толстым высокоомным телом коллектора.

Лит.: Ройзин И. М., Маркович М. И., Накопление избыточных носителей заряда в дрейфовом транзисторе, в сб.: Полупроводниковые приборы и их применение, под ред. Я. А. Федотова, вып. 10, М., 1963, с. 167—200; Аргаханян Т. М., Переходный процесс в полупроводниковом ключе при его запирании, там же, с. 440—77; Nanavati R. P., Wilfinger R. J., Transistor storage time in circuits with speed-up capacitors, «Proc. I. R. E.», 1961, v. 49, № 12, p. 1962. См. также лит. при ст. *Времена переключения* и *Транзистора параметры*.

В. Г. Маранц.

ТРАНСПОРТНАЯ ЗАДАЧА (transport problem; problème de transport; Transportaufgabe) — важнейшая частная модель *линейного программирования*, имеющая обширные практич. приложения. Сущность Т. з. состоит в следующем. Пусть в пунктах произ-ва $A_1, A_2, \ldots, A_m$ изготовляется нек-рый однородный продукт, причем объем произ-ва в пункте A_i составляет a_i единиц. Этот продукт потребляется в пунктах $B_1, B_2, \ldots, B_n$; объем потребления в пункте B_j равен b_j единиц.

Допустим, что из каждого пункта произ-ва A_i возможна перевозка продукта в любой пункт потребления B_j, причем транспортные расходы составляют c_{ij} единиц. Т. з. заключается в составлении такого плана перевозок, при к-ром запросы всех пунктов потребления удовлетворены, продукт, находящийся в пунктах произ-ва, вывезен полностью, суммарные транспортные расходы минимальны. Если обозначить через x_{ij} количество продукта, перевозимое из A_i в B_j, то математич. формулировка Т. з. состоит в минимизации линейной формы

$$\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} c_{ij} x_{ij} \quad (1)$$

при условиях

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = a_i, \qquad i = 1, 2, \ldots, m; \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{m} x_{ij} = b_j, \qquad j = 1, 2, \ldots, n; \quad (3)$$

$$x_{ij} \geqslant 0. \quad (4)$$

Соблюдение баланса произ-ва и потребления, т. е. выполнение равенства

$$\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j,$$

является необходимым и достаточным условием разрешимости Т. з. (1)—(4).

Величины транспортных расходов и планы Т. з. обычно задают в виде матриц размеров $m \times n$. В нек-рых случаях знаки равенства в условиях (2) или (3) заменяются знаками неравенств. Соответствующие задачи, известные под названием открытых транспортных моделей, приводятся к Т. з. типа (1)—(4) путем введения фиктивного пункта произ-ва или потребления.

Встречаются задачи (так наз. Т. з. с запретами), в к-рых не каждая пара пунктов A_i, B_j связана коммуникацией. В таких задачах отдельные перевозки x_{ij} заранее полагаются равными нулю. Методы анализа Т. з. с запретами и задачи (1)—(4) ничем не отличаются друг от друга.

В ряде случаев пропускные способности коммуникаций, связывающих пункты задачи, ограничены, что эквивалентно требованиям

$$x_{ij} \leqslant d_{ij}. \quad (5)$$

Задачу (1) — (5) называют Т. з. с огранич. пропускными способностями коммуникаций. Любой метод решения задачи типа (1)—(4) можно распространить на задачи типа (1)—(5).

В схему Т. з. укладывается большое число практич. задач, многие из к-рых существенно отличаются по формулировке от простейшей схемы, использованной для описания Т. з.

1) Задача рационального использования станков. Пусть имеется m различных станков $A_1, A_2, \ldots, A_m$, каждый из к-рых можно использовать для обработки n различных деталей $B_1, B_2, \ldots, B_n$. Известно, что станок A_j обрабатывает за единицу времени λ_{ij} деталей типа B_j, причем стоимость его эксплуатации равна r_{ij}. Задача заключается в таком рациональном распределении времени работы станков по обработке различных деталей, чтобы деталей типа B_j было обработано s_j штук, станок A_i работал не более h_i единиц времени и при этом суммарная стоимость обработки была бы минимальной. Математически эта задача сводится к определению системы переменных h_{ij} (продолжительность работы i-го станка в j-м режиме), минимизирующей линейную форму

$$\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} r_{ij} h_{ij} \quad (6)$$

при условиях

$$\sum_{j=1}^{n} h_{ij} \leqslant h_i, \qquad i = 1, 2, \ldots, m; \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^{m} \lambda_{ij} h_{ij} = s_j, \qquad j = 1, 2, \ldots, n; \quad (8)$$

$$h_{ij} \geqslant 0. \quad (9)$$

Допустим, что производительность λ_{ij} станка A_i при обработке детали B_j можно представить в виде

$$\lambda_{ij} = \alpha_i \beta_j,$$

где α_i определяется станком, а β_j — видом обрабатываемой детали. В этом случае замена переменных $x_{ij} = \alpha_i h_{ij}$ приводит задачу (6)—(9) к Т. з.

2) Задача составления оптимального плана перевозок и обработки. Пусть пункты потребления $A_1, A_2, \ldots, A_m$ выпускают нек-рый полуфабрикат в количествах $a_1, a_2, \ldots, a_m$, требующий определ. обработки, прежде чем поступить в пункты потребления $B_1, B_2, \ldots, B_n$ с объемами потребления $b_1, b_2, \ldots, b_n$. Обработка полуфабриката может производиться в пунктах $C_1, C_2, \ldots, C_k$, причем возможность пункта обработки C_λ ограничена числом d_λ. Стоимость перевозки единицы полуфабриката из A_i в C_λ равна $c'_{i\lambda}$, а перевозка единицы продукта из C_λ в B_j обходится в $c''_{\lambda j}$ денежных единиц. Задача заключается в составлении такого плана перевозок и обработки, при к-ром весь полуфабрикат вывозится и перерабатывается, потребности всех пунктов B_j полностью удовлетворяются и при этом суммарные транспортные расходы достигают минимума. Пусть $z_{i\lambda j}$ — количество продукта, доставляемое в B_j, к-рое изготовлено в пункте обработки C_λ из полуфабриката пункта A_i. Прямая математич. формулировка задачи требует минимизации линейной формы

$$\sum_{j=1}^{n} \sum_{i=1}^{m} \sum_{\lambda=1}^{k} (c'_{i\lambda} + c''_{\lambda j}) z_{i\lambda j} \quad (10)$$

при условиях

$$\sum_{j=1}^{n} \sum_{\lambda=1}^{k} z_{i\lambda j} = a_i, \qquad i = 1, 2, \ldots, m; \quad (11)$$

$$\sum_{i=1}^{m} \sum_{\lambda=1}^{k} z_{i\lambda j} = b_j, \qquad j = 1, 2, \ldots, n; \quad (12)$$

$$\sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} z_{i\lambda j} \leqslant d_\lambda, \qquad \lambda = 1, 2, \ldots, k; \quad (13)$$

$$z_{i\lambda j} \geqslant 0. \quad (14)$$

Задача (10)—(14) может быть приведена к Т. з. с запретами, обладающей $m+k$ пунктами произ-ва с объемами произ-ва $a_1, a_2, \ldots, a_m, d_1, d_2, \ldots, d_k$ и $n+k$ пунктами потребления с объемами потребления $b_1, b_2, \ldots, b_n, d_1, d_2, \ldots, d_k$. Предполагается, что i-й пункт произ-ва связан коммуникацией с j-м пунктом потребления лишь в том случае, если $i \leqslant m$, а $j > n$, либо $i > m$, а $j \leqslant n$, причем

$$c_{ij} = \begin{cases} c'_{ij}, & \text{если } i \leqslant m, \ j > n \\ c''_{ij}, & \text{если } i > m, \ j \leqslant n. \end{cases}$$

3) Простейшая задача перевозок неоднородного продукта. Пусть в пункте A_i производятся продукты C_λ, $\lambda \in E_i$, число к-рых равно r_i ($i = 1, 2, \ldots, m$). Продукты, потребляемые в пункте B_j ($j = 1, 2, \ldots, n$), разделяются на такие l_j групп (возможно пересекающихся), что внутри каждой из них существует полная взаимозаменяемость составляющих, причем значения коэфф. взаимозаменяемости зависят только от самих продуктов. Количество x эквивалентного продукта μ-й группы пункта B_j рассчитывается по ф-ле

$$x = \sum_{\lambda \in S_{j\mu}} k_\lambda x_{\lambda j},$$

где $x_{\lambda j}$ — количество продукта C_λ; $S_{j\mu}$ — множество номеров продуктов, образующих данную взаимозаменяемую группу; k_λ — коэфф. взаимозаменяемости продукта C_λ. Объемы произ-ва $a_{i\lambda}$ продуктов C_λ, $\lambda \in E_i$ в каждом из пунктов A_i и потребности $b_{j\mu}$ по каждой группе взаимозаменяемых продуктов известны. Заданы также транспортные расходы $c_{ij\lambda}$ на перевозку единицы λ-го продукта из A_i в B_j. Задача заключается в составлении такого плана перевозок, к-рый удовлетворяет потребности всех пунктов B_j по каждой группе взаимозаменяемых продуктов за счет возможностей пунктов A_i при минимальных транспортных затратах.

Сформулированная задача легко приводится к Т. з. Для этого каждый пункт A_i расщепляется на пункты $A_{i\lambda}$, $\lambda \in E_i$ по числу имеющихся в нем продуктов, причем объем произ-ва в $A_{i\lambda}$ полагается равным $k_\lambda a_{i\lambda}$. Каждый пункт потребления B_j заменяется группой пунктов $B_{j\mu}$ ($\mu = 1, 2, \ldots, l_j$) по числу групп взаимозаменяемых продуктов, доставляемых в B_j, причем объем потребления пункта $B_{j\mu}$ равен $b_{j\mu}$. Пункт $A_{i\lambda}$ связывается коммуникацией с пунктом $B_{j\mu}$ в том и только в том случае, если μ-я группа продуктов пункта B_j включает продукт C_λ. Величина транспортных расходов между пунктами $A_{i\lambda}$ и $B_{j\mu}$, связанными коммуникацией, полагается равной $c_{ij\lambda}/k_\lambda$.

Матрица условий Т. з. имеет чрезвычайно простую структуру: в каждом ее столбце два элемента — единицы, а остальные — нули, причем одна единица столбца обязательно содержится среди строчек, отвечающих пунктам потребления, а другая принадлежит одной из строк, соответствующих пунктам произ-ва. Это позволяет существенно упростить методы линейного программирования применительно к задаче (1)—(4) и определяет большинство св-в Т. з. Отметим несколько наиболее важных из них. С каждым планом Т. з. связывается система его осн. коммуникаций, вдоль к-рых запланированы положит. перевозки. План Т. з. является опорным (см. *Симплексный метод*) в том и только в том случае, если из его осн. коммуникаций невозможно составить замкнутый маршрут. Необходимое и достаточное условие невырожденности задачи (1)—(4) заключается в требовании, чтобы суммарный объем произ-ва любой неполной группы пунктов произ-ва не совпадал с суммарной потребностью ни одной из групп пунктов потребления.

Характерное св-во Т. з., часто используемое в приложениях, состоит в следующем: если объемы произ-ва и потребления — целые числа, то любой опорный план задачи состоит из целочисл. перевозок. Задача, двойственная по отношению к (1) — (4) (см. *Двойственности теория*), состоит в максимизации линейной формы

$$\sum_{j=1}^{n} v_j b_j - \sum_{i=1}^{m} u_i a_i \qquad (15)$$

при условиях

$$v_j - u_i \leqslant c_{ij}, \quad i=1, 2, \ldots, m; \quad j=1, 2, \ldots, n. \qquad (16)$$

План задачи (15); (16) определяется числами $u_1, u_2, \ldots, u_m$, связанными с пунктами произ-ва, и величинами $v_1, v_2, \ldots, v_n$, отвечающими пунктам потребления. Из теоремы двойственности для Т. з. вытекает критерий оптимальности: план $X=\|x_{ij}\|_{m,n}$ задачи (1)—(4) является ее решением в том и только в том случае, если существуют числа u_i^* и v_j^*, удовлетворяющие условиям:

$$v_j^* - u_i^* \leqslant c_{ij}, \quad i=1, 2, \ldots, m, \quad j=1, 2, \ldots, n; \qquad (17)$$

$$v_j^* - u_i^* = c_{ij} \text{ при } x_{ij} > 0. \qquad (18)$$

Числа u_i^*, v_j^*, подчиняющиеся требованиям (17), (18), составляют решение задачи (15), (16) и наз. потенциалами соответствующих пунктов Т. з. Система потенциалов позволяет оценивать изменение минимума суммарных транспортных расходов в результате малых флуктуаций объемов произ-ва и потребления.

Разработано много алгоритмов решения Т. з., подавляющее большинство из к-рых связано с конечными методами линейного программирования. Предельная простота условий Т. з. позволяет получить на основе любого общего метода линейного программирования менее трудоемкий спец. алгоритм для анализа этой задачи. Эффективность алгоритма зависит в основном от того, насколько полно учтена специфика Т. з. Существующие конечные методы решения Т. з. можно разделить на две группы. Первая группа алгоритмов основана на методе последовательного улучшения плана (см. *Симплексный метод*). Вторая группа базируется на идеях метода последоват. сокращения невязок (см. *Линейное программирование*). Представителем первой группы алгоритмов является *потенциалов метод*; представителем второй группы — *венгерский метод*.

Задача типа (1)—(4) наз. Т. з. в матричной постановке, поскольку ее условия и планы обычно задают в виде прямоугольных матриц. В ряде приложений используется более общая постановка Т. з., наз. сетевой, сущность к-рой состоит в следующем. Имеется ряд пунктов, связанных между собой сетью дорог. Сеть состоит из конечного числа коммуникаций. Пункты делятся на пункты произ-ва, пункты потребления и перевалочные пункты. Пункт с номером i характеризуется числом S_i — количеством продукта, производимого в этом пункте. Для пункта произ-ва $S_i>0$, для пункта потребления $S_i<0$. Перевалочному пункту отвечает $S_i=0$. Для каждой коммуникации сети задаются стоимости перевозки продукта в обоих направлениях. Кроме того, нек-рые коммуникации имеют огранич. пропускные способности, вообще говоря, разные для различных направлений. План перевозок определяется набором перевозок для всех коммуникаций сети; перевозка характеризуется величиной и направлением. При этом предполагается, что для каждого пункта разность между количеством вывозимого и ввозимого продукта равна S_i, где i — номер пункта, а величины перевозок не превосходят соответствующих значений пропускных способностей. Задача заключается в формировании оптимального плана перевозок, т. е. плана, связанного с миним. суммарными транспортными расходами. Матричная Т. з. — частный случай сетевой Т. з.: перевалочные пункты отсутствуют, движение продукта возможно только от пункта произ-ва к пункту потребления.

Существуют приемы, позволяющие привести произвольную Т. з. в сетевой постановке к эквивалентной Т. з. типа (1)—(4) или (1)—(5). Однако размеры эквивалентной задачи могут существенно возрасти по сравнению с размерами исходной задачи. Поэтому сведение Т. з. в сетевой постановке к матричному виду (с последующим использованием алгоритмов решения Т. з. в матричной постановке) применяется лишь в редких случаях. Обычно оказывается более целесообразным решать задачу в той форме, к-рая вытекает из ее естеств. постановки. Любой метод решения Т. з. в матричной форме легко обобщается на Т. з. в сетевой постановке. Сетевые аналоги метода потенциалов и венгерского метода можно найти в [3] и [1]. К Т. з. примыкает ряд спец. моделей линейного программирования, к-рые, хотя и не укладываются в схему Т. з., однако подобно Т. з. обладают особенностями, позволяющими разработать для их анализа достаточно эффективные алгоритмы. К числу этих моделей, иногда наз. задачами транспортного типа, относятся распределит. задачи, а также трех- и многоиндексные задачи. Пример распределит. задачи — задача (7) — (10), к-рая не сводится к Т. з., если $\lambda_{ij} \neq \alpha_i \beta_j$. Задача (11)—(15) — трехиндексная задача. Возможность приведения ее к транспортной объясняется специальным видом формы (10).

Лит.: 1) Simonnard M., Programmation linéaire, P., 1962; 2) Юдин Д. Б., Гольштейн Е. Г., Задачи и методы линейного программирования, М., 1961; 3) Яковлева М. А., Задача о минимуме транспортных затрат, в кн.: Применение математики в экономических исследованиях, [т. 1], М., 1959.

Е. Г. Гольштейн.

ТРАНСФЛЮКСОР (transfluxor; transfluxor; Transfluxor) — ферромагнитный сердечник с двумя или более отверстиями, работающий на принципе перераспределения магнитных потоков. Впервые описан в 1955 [1].

Простейший Т. (рис. 1) — сердечник из феррита с прямоугольной петлей гистерезиса с двумя отверстиями неравного диаметра, расположенными так, что площади сечения участков $S_2=S_3$, а $S_1 \geqslant S_2+S_3$.

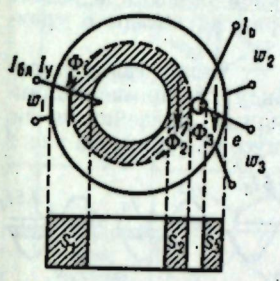


Рис. 1. Трансфлюксор.

За исходное состояние Т., соответствующее записи в нем 0, принимают такое, когда весь сердечник намагничен до насыщения в одном (безразлично в каком) направлении. При этом перем. ток или импульсы тока с амплитудой I_0, поданные в обмотку опроса w_2, не могут изменить магнитное состояние зоны вокруг малого отверстия, т. к. поле этой обмотки всегда совпадает по направлению либо с потоком Φ_2, либо с Φ_3, а материал сердечника намагничен до насыщения. Поэтому в выходной обмотке w_3 индуктируется лишь очень незначит. эдс помех считывания нуля $e=e_0$, обусловленная небольшим изменением индукции вследствие неидеальной прямоугольности петли гистерезиса. Такое состояние Т., при к-ром практически отсутствует трансформаторная связь между w_2 и w_3, наз. заблокированным.

Для разблокировки Т. (записи в нем 1) по обмотке w_1 пропускается установочный, или разблокирующий импульс тока, к-рый создает магнитодвижущую силу, противоположную по направлению магнитному потоку в Т. Амплитуда установочного импульса I_y выбирается так, чтобы перемагничивался не весь сердечник, а только его заштрихованная часть. При этом изменяется направление потока Φ_2 в сечении S_2 и создаются условия для возникновения трансформаторной связи между обмотками w_2 и w_3, обеспечивающие считывание единицы при возбуждении w_2 импульсами опроса I_0.

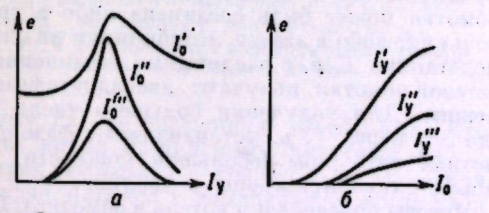
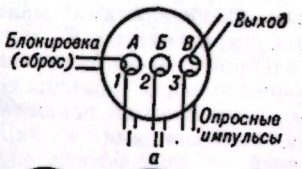


Рис. 2. Хар-ки трансфлюксора: *а* — установочные; *б* — приводные.

Осн. хар-ки Т.: а) установочные $e=f(I_y)$ при $I_0=\text{const}$. На рис. 2,*а* показано семейство установочных хар-к, снятых при различных I_0, причем $I_0'>I_0''>I_0'''$; б) приводные $e=f(I_0)$ при $I_y=\text{const}$. На рис. 2,*б* — семейство приводных хар-к, снятых при различных J_y, причем $I_y'>I_y''>I_y'''$.

Т. применяются в цифровой технике в качестве элементов ЗУ и различных логич. схем. На Т. могут строиться ЗУ со *считыванием информации неразрушающим* по методу «частичного запроса» и *регистры сдвига*. В отличие от логич. схем на простых магнитных сердечниках, в логич. схемах на Т. можно обойтись без диодов или транзисторов в цепях связи. Это существенно упрощает схемы и уменьшает затрату мощности. На рис. 3



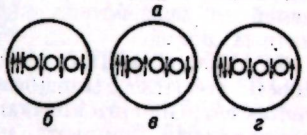


Рис. 3. Трансфлюксор с тремя отверстиями, работающий как схема совпадений: *а* — схема размещения отверстий; *б* — распределение потоков в исходном состоянии (после осуществления сброса); *в* — то же после воздействия сигнала *I*; *г* — то же после воздействия сигнала *II*.

изображен трехотверстный Т., представляющий *совпадений схему* с двумя входами, к-рая срабатывает при последовательном поступлении сигналов сначала на вход *I*, а затем на вход *II*. Импульсом сброса Т. переводится в исходное состояние *б*; причем зоны вокруг отверстий *Б* и *В* заблокированы, и сигнал на входе *II* не может повлиять на величину потока вокруг отверстия *Б*, а опросные импульсы — на поток вокруг отверстия *В*. Поэтому на выходе сигнал отсутствует. Зона вокруг отверстия *А* не заблокирована, и при поступлении сигнала на вход *I* Т. переходит в состояние *в*. При этом разблокируется зона вокруг *Б*, и при поступлении сигнала на вход *II* Т. переходит в состояние *г*. В этом состоянии под влиянием опросных импульсов появляется сигнал на выходе. Комбинируя количество и расположение отверстий и обмоток возбуждения, на Т. можно строить различные логические элементы. Дальнейшим развитием принципа перераспределения потоков в многоотверстных элементах являются разработки логич. схем на т. н. «лесенках», т. е. структурах, состоящих из боковых стенок и перекладин, разделяющих прямоугольные отверстия. На рис. 4 приведена лесенка, выполняю-

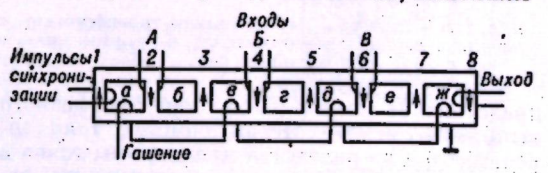


Рис. 4. Схема восьмиступенчатой лесенки.

щая ф-ции схемы «и» с тремя входами. На ней могут быть собраны и др. логич. схемы («или», «не»). Различные модификации Т. — надежные и дешевые элементы. Однако недостаток их по сравнению с простыми сердечниками — относительная сложность изготовления. Скорость работы Т. ограничена частотой порядка 250 *кгц*.

Лит.: 1) Rajchman J. A., Lo A. W., The transfluxor, «Proc. I. R. E.», 1956, v. 44, № 3; 2) Розенблат М. А., Бесконтактные магнитные

устройства автоматики, М., 1961; 3) Крайзмер Л. П., Быстродействующие ферромагнитные запоминающие устройства, М.—Л., 1964; 4) Кравченко Л. Д., Трансфлюксоры в устройствах телеуправления, Киев, 1963. *Л. П. Крайзмер.*

ТРАНСФОРМАТОР ВХОДНОЙ (input transformer; transformateur d'entrée; Eingangstransformator) — устройство для согласования выхода микрофона или другого низкоомного источника напряжения с входом усилителя звуковой частоты. Т. в. является *трансформатором низкой частоты* с отличительными особенностями: малым уровнем сигналов, передаваемых Т. в. от микрофона или фидерной линии к усилителю; высоким коэфф. трансформации (порядка сотен единиц); малыми нелинейными искажениями; повышенными требованиями к экранировке входных цепей от воздействия внешних электромагнитных полей. *В. И. Шебанов.*

ТРАНСФОРМАТОР ВЫПРЯМИТЕЛЬНЫЙ (rectifier transformer; transformateur redresseur; Gleichrichtertransformator) — электромагнитный аппарат, преобразующий перем. ток одного напряжения в перем. ток другого напряжения и являющийся частью *вентильного преобразователя*; во многом отличается от типовых тр-ров. Номинальной мощностью Т. в. наз. мощность сетевой обмотки, т. е. обмотки, присоединяемой к сети перем. тока. Обмотка, подключаемая к анодам вентилей, наз. вентильной обмоткой. Для нулевых схем мощность (в *ква*) вентильной обмотки больше мощности сетевой обмотки. Типовая мощность Т.в. соответствует мощности эквивалентного ему по размерам силового тр-ра. В пром. выпрямителях средней и большой мощности выпрямленный (или инвертируемый) ток обычно сглажен индуктивностью приемника, ошиновки и сглаживающим реактором. В расчетах принимают форму кривой фазного тока вентильной обмотки за прямоугольную, т. к. нек-рое уменьшение действующего значения из-за коммутации компенсируется увеличением нагрева вихревыми токами. На рис. 1

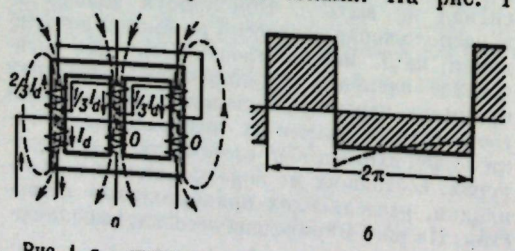


Рис. 1. *а* — схема выпрямительного трансформатора для 3-фазного выпрямителя; *б* — формы токов в одной из фаз.

представлена схема Т. в. для трехфазного выпрямителя. В сетевой обмотке токи определяются из равенства нулю суммы токов в подводящих проводах и отсутствия пост. составляющей в любом участке первичной цепи. Мгновенные значения токов сетевой и вентильных обмоток не равны. Как видно из рис. 1,*а*, кроме осн. потока, возникает поток рассеяния, замыкающийся от ярма к ярму и называемый потоком вынужденного намагничивания. Он может вызвать увеличение потерь в стали и перенапряжения при сбросе нагрузки. На рис. 1,*б* приведены формы токов в одной из фаз. При расчетах форму компенсирующего тока принимают за прямоугольную. В действительности в нач. момент этот ток больше $^1/_3 I_d$ и падает по экспоненте быстрее или медленнее в зависимости от магнитной инерции сердечника (штриховая линия).

При питании шестифазного выпрямителя со схемой Т. в. звезда — шестифазная звезда возникает перем. поток вынужденного намагничивания тройной частоты. Он вызывает значит. падение напряжения, увеличение потерь в стали, перегрев бака и конструктивных узлов сердечника. При схеме Т. в. треугольник — шестифазная звезда поток вынужденного намагничивания гасится первичной обмоткой, к-рая должна быть на $^1/_3$ мощнее. Поэтому для нулевых схем обязательно применение вентильной обмотки в зигзаг или со схемой «две обратных звезды с уравнит. реактором».

Форма тока зависит от числа фаз и имеет иные соотношения между средними, амплитудными и действующими значениями по сравнению с токами синусоид. формы. На рис. 2

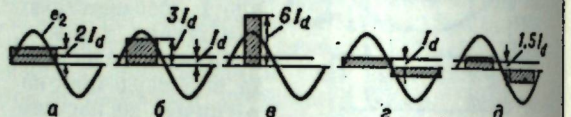


Рис. 2. Формы токов в фазах вентильной обмотки выпрямит. тр-ра. Для нулевых схем: *а* — однофазная; *б* — трехфазная; *в* — шестифазная. Для мостовых схем: *г* — однофазная; *д* — трехфазная.

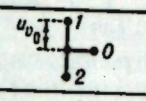
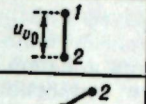
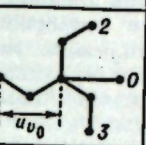
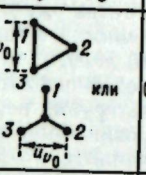
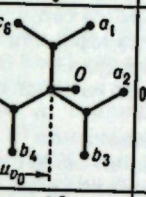
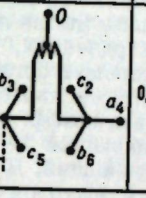
даны формы токов для различного числа фаз, для нулевых и мостовых схем при одной и той же величине выпрямл. тока I_d.

Действующие значения токов приведены в табл. Как видно из рис. 2, мостовые схемы имеют преимущество в отношении амплитудных и действующих значений токов. С др. стороны, в мостовых схемах ток проходит последовательно по двум вентилям, вызывая удвоенные потери; половина вентилей имеет различные потенциалы и требует изоляции вентилей и цепей, связанных с катодами, на полное напряжение, а в откачанных вентилях, кроме того, усложняется система откачки. Поэтому мостовая схема применяется либо для выпрямл. напряжений свыше 4 *кв*, либо для ПП вентилей.

Чем меньше число фаз, тем меньше I_d, но тем больше пульсации выпрямл. тока и тем больше *высшие гармонические в вентильных преобразователях*. Двенадцатифазные Т. в. сложны и менее устойчивы при аварийных токах. Поэтому для средних и больших мощностей наибольшее применение получила схема «две обратных звезды с уравнит. реактором». Эта схема (№ 6 в таблице) сочетает преимущества шести- и трехфазной. Сетевая обмотка может быть соединена либо в треугольник, либо в звезду. Комбинируя на одной подстанции Т. в. с различными соединениями сетевой обмотки, получают двенадцатифазный режим. Для получения большего числа фаз (до 36) перед Т. в. устанавливают фазоповоротные автотр-ры небольшой мощности. Типовые схемы приведены в таблице.

Методы определения потерь в обмотках Т. в. и напряжения приведены в ГОСТе 2329—62 «Агрегаты преобразовательные» [6]. Способ испытания на нагрев Т. в. с догрузкой вентильной обмотки до номинальной пост. током предложен в [2].

Уравнит. реактор — однофазный тр-р с миним. рассеянием — разлагает шестифазную

№№ по пор.	Наименование схемы	Схема вентильной обмотки	$\frac{I_a}{I_{d_L}}$	$\frac{I_2}{I_{d_1}}$	$\frac{P_1}{P_{di_0}}$	$\frac{P_2}{P_{di_0}}$	$\frac{u_{di_0}}{u_{v_0}}$
1	Однофазная нулевая		1	0,71	1,11	1,57	0,9
2	Однофазная мостовая		1	1	1,11	1,11	0,9
3	Трехфазная нулевая (зигзаг)		0,816	0,58	1,21	1,46	1,17
4	Трехфазная мостовая		0,816	0,816	1,05	1,05	1,35
5	Шестифазный зигзаг (нулевая)		0,816	$\frac{*}{0,41}$ / 0,58	1,05	1,79	1,35
6	Две обратных звезды с уравнительным реактором		0,71	0,41	1,05	1,48	$\frac{**}{1,17}$ (1,35)

* В числителе для наружных ветвей, в знаменателе — для внутренних. ** В скобках с учетом пика холостого хода уравнительного реактора, т. е. при работе без утроителя частоты.

Примечания: 1. Буквы у фазных зажимов вентильной обмотки указывают на расположение обмоток по сердечникам, цифры — порядок следования фаз.

2. Для мостовой трехфазной схемы с соединением вентильной обмотки в звезду или в треугольник под напряжением холостого хода (u_{v_0}) понимают действующее значение линейного напряжения между двумя смежными выводами.

3. Расчетная величина действующего значения линейного тока сети ($I_Л$) приведена к вентильной обмотке при равенстве линейного напряжения сети и фазного напряжения вентильной обмотки для нулевых схем и равенстве линейного напряжения сети линейному напряжению вентильной обмотки для мостовых схем.

4. $u_{d_{i_0}}/u_{v_0}$ есть отношение выпрямл. напряжения при хх без учета падения в вентиле к действующему значению фазного напряжения вентильной обмотки при холостом ходе Т. в.

5. $P_{d_{i_0}}$ равняется произведению номин. выпрямл. тока $I_{d_{i_0}}$ на выпрямл. напряжение $u_{d_{i_0}}$.

6. P_1 и P_2 определяют мощность соответственно сетевой и вентильной обмоток (в *ква*).

систему на две смещенных трехфазных. Его работа видна из линейных диаграмм рис. 3 для трех режимов: *а* — холостого хода; *б* — при нагрузке, близкой к номинальной, когда угол коммутации 30°, и *в* — зарегулированного фазой зажигания до нуля напряжения. Для уменьшения пика хх в Т. в. встраивается утроитель частоты для подпитки уравнит. реактора [3].

В СССР серийно выпускаются Т. в. типа ТМРУ мощностью от 420/10 до 6200/35 *ква* со встроенными в общий бак уравнит. реакторами. Конструктивная схема такого тр-ра

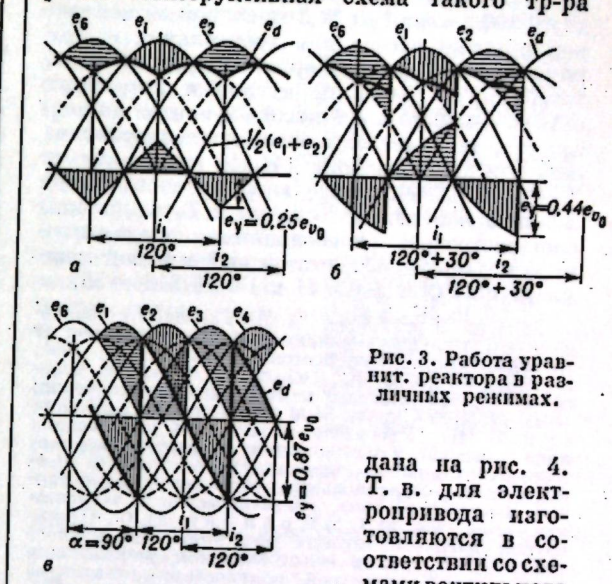


Рис. 3. Работа уравнит. реактора в различных режимах.

дана на рис. 4. Т. в. для электропривода изготовляются в соответствии со схемами вентильного преобразователя. Для электрификации магистральных ж. д. пост. тока для выпрямителей с последоват. соединением вентилей на 3300 *в* и 2400 *а* изготовляются тр-ры типа ТДРУНГ-20000/110, соединяемые по схеме «две обратные звезды с уравнит. реактором» с регулировкой напряжения под нагрузкой для компенсации колебаний напряжения в сети и для оптим. распределения нагрузок между подстанциями. Эти Т. в. имеют третью обмотку для питания района. В последнее время вместо одного Т. в. ТДРУНГ - 20000/110 применяются три Т. в. УТМРУ-6200. Для электровозов перем. тока с выпрямителями на самих электровозах устанавливаются одно-

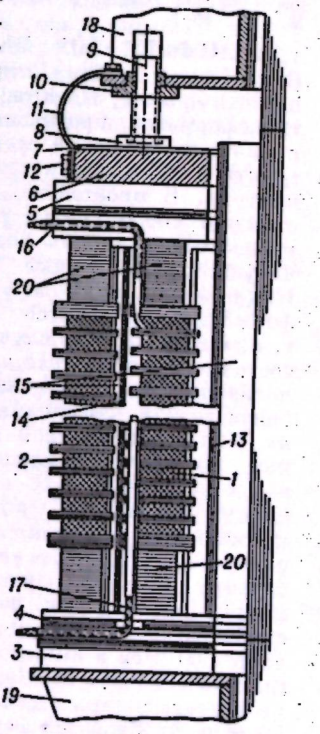


Рис. 4. Вертик. разрез обмоток и опорной конструкции тр-ров типов ТМРУ-2600/10 и ТМРУ-3500/35: *1* — сетевая обмотка; *2* — вентильная обмотка; *3* — уравнит. подкладка; *4* — ярмовая изоляция нижняя; *5* — ярмовая изоляция верхняя; *6* — прессующее стальное кольцо; *7* — прессшпановое кольцо; *8* — башмак; *9* — нажимная шпилька; *10* — втулка; *11* — лента для заземления прессующего кольца; *12* — болт; *13* — цилиндр сетевой обмотки; *14* — цилиндр вентильной обмотки; *15* — прессшпановый клин; *16* — осн. конец сетевой обмотки; *17* — регулировочный конец вентильной обмотки; *18* — верхняя консоль; *19* — нижняя консоль; *20* — опорное кольцо.

фазные Т. в. мощностью 5600 *ква* на 27,5/7 *кв* с регулированием контакторами напряжения на вентильной обмотке. Промежуточным звеном между однофазными Т. в. и 3-фазной

сетью на тяговых подстанциях устанавливаются тр-ры типа ТДТНГЭ мощностью от 20 000 до 40 500 *ква* на 110/27,5 *кв* со схемой первичной обмотки звезда или треугольник и вторичной — две фазы открытого треугольника. Комбинируя схемы первичной и вторичных обмоток, можно получить 6 вариантов по числу фаз, что дает симметричную нагрузку на сеть трехфазного тока [4]. К комплектации Т. в. относятся также анодные делители на 2 или 3 вентиля. В остальном Т. в. должны соответствовать требованиям, предъявляемым к тр-рам соответствующей типовой мощности по ГОСТ 401—41 и ГОСТ 3484—55.

Лит.: 1) Трейвас М. Д., Высшие гармонические выпрямленного напряжения и их снижение на тяговых подстанциях постоянного тока, М., 1964; 2) Манькин Э. А., Испытание на нагрев трансформаторов, питающих шестифазные выпрямители, «ВЭ», 1963, № 4, с. 31; 3) Манькин Э. А., Корсун Н. Н., Утроитель частоты для компенсации внешней характеристики в ртутно-выпрямительных установках, там же, 1948, № 2; 4) Лапин В. Б., Параллельная работа тяговых подстанций переменного тока, «Электрическая и тепловозная тяга», 1960, № 1; 5) Крайчик Ю. С., Несимметрия нагрузок тяговых подстанций переменного тока и возможности ее ограничения устройствами параллельной емкостной компенсации реактивной мощности, «Изв. НИИ постоянного тока», 1962, № 9; 6) ГОСТ 2329—62. Агрегаты преобразовательные с ртутными металлическими вентилями; 7) Трансформаторы для питания металлических ртутных выпрямителей. Главниипроект при Госплане СССР. 2503; 8) Публ. № 84 МЭК 1957; 9) Белопольский И. И., Пикалова Л. Г., Расчет трансформаторов и дросселей малой мощности, М.—Л., 1963.

В. К. Крапивин.

ТРАНСФОРМАТОР ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ (high frequency transformer; transformateur à haute fréquence; Hochfrequenztransformator) — трансформатор, предназначенный для согласования сопротивлений отдельных участков ВЧ тракта и работы в качестве ВЧ резонансного контура. В простейшем виде Т. в. ч. представляет собой две катушки индуктивности, расположенные одна возле другой, или две катушки, размещенные на общем каркасе. Как правило, для Т. в.ч. вместо коэфф. трансформации приводится *связи коэффициент*, т. к. в большинстве случаев Т. в. ч. является составной частью *связанных цепей*. Для согласования сопротивлений изменяют коэфф. связи между катушками, сближая и удаляя их. Если к первичной и вторичной катушкам подключить конденсаторы, то получатся два связанных контура, образующих единую связанную систему. Такие Т. в. ч. применяются в *усилителях высокой частоты* и *усилителях промежуточной частоты*. Настройку Т. в. ч. осуществляют изменением индуктивности, для чего катушки Т. в. ч. снабжаются магнитодиэлектрическими (для частот 60 *Мгц* и выше) или ферромагнитными (для частот ниже 60 *Мгц*) сердечниками. В ряде случаев (напр., в диапазоне УКВ) катушки Т. в. ч. снабжаются ферритовыми тороидальными сердечниками с большой начальной магнитной проницаемостью. Ферритовый сердечник, в отличие от стального, не вносит заметных потерь на ВЧ, так как по существу является магнитодиэлектрич. материалом с большим удельным сопротивлением. Использование ферритовых сердечников позволяет осуществить намотку Т. в. ч. с заданной индуктивностью меньшим количеством витков, чем без сердечника, что существенно расширяет полосу пропускания частот тр-ра, т. к. уменьшается емкость между его обмотками. Т. в. ч. служит также для согласования симметричных антенн с несимметричным входом приемника (несимметричным кабелем).

Лит.: Малинин Р. М., Выходные трансформаторы, М.—Л., 1963; Справочник радиоинженера, М.—Л., 1961.

И. А. Стрельцов.

ТРАНСФОРМАТОР ВЫХОДНОЙ (output transformer; transformateur de sortie; Ausgangstransformator) — трансформатор низкой (звуковой) частоты, предназначенный для согласования сопротивления анодной цепи выходной лампы усилителя с сопротивлением нагрузки. Нагрузкой *усилителя низкой частоты* обычно является электродинамич. громкоговоритель или трансляц. линия. При этом сопротивление нагрузки может лежать в пределах от единиц до сотен *ом*. Выходное же сопротивление оконечного каскада измеряется тысячами *ом* (3—10 *ком*). Для оптим. передачи мощности звуковой частоты из выходной цепи усилителя в нагрузку необходимо трансформировать сопротивление нагрузки в выходную цепь усилителя т. о., чтобы $R_н n^2 = R$ вых, где $R_н$ — сопротивление нагрузки, n — коэфф. трансформации Т. в., к-рый обычно лежит в пределах от 5 до 60. Т. в. могут выполняться на выходную мощность до сотен *вт*.

Нелинейные искажения в Т. в. обусловливаются нелинейной зависимостью величины индукции в сердечнике тр-ра от напряженности магнитного поля (петля гистерезиса). Выбор материала сердечника, режима работы Т. в., а также хорошее согласование выходного сопротивления усилителя с нагрузкой позволяют получить коэфф. нелинейных искажений, не превышающий 1—2%, а в отдельных случаях и меньший. В схемах усилителей с однотактным выходом пост. составляющая анодного тока выходного каскада протекает по первичной обмотке Т. в. и неск. снижает действующее значение индуктивности этой обмотки (обычно на 15—20%). Применение двухтактных схем выходных каскадов позволяет избежать указанного явления, т. к. пост. магнитные потоки в первичной обмотке Т. в. противоположны по направлению. Т. в. ламповых и ПП усилителей НЧ (10—20 000 *гц*), работающих в усилит. трактах и следящих системах различных устройств автоматики и телемеханики, не отличаются от Т. в. звуковых усилителей. Требования к ним по полосе воспроизводимых частот и нелинейным искажениям значительно ниже и сводятся в основном к обеспечению заданного согласования (т. е. коэфф. трансформации).

И. А. Стрельцов.

ТРАНСФОРМАТОР ДЛЯ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА повышенной и высокой частоты (transformer for induction heating; transformateur pour échauffement par induction; Transformator für induktiverwärmung) — силовой трансформатор, предназначенный для согласования параметров индуктора с напряжением питающего генератора в индукц. нагреват., закалочных или плавильных установках. Т. для и. н. характеризуется: а) повышенными рабочими частотами, при к-рых имеет место сильное проявление поверхностного эффекта в распределении тока и магнитного потока по сечению проводников; б) использованием в технологич. оборудовании, что требует макс. компактности тр-ра. Поэтому удельные потери в Т. для и. н. во много раз выше, чем в обычных силовых тр-рах

(в меди до 2000 *вт/кг*, в стали—до 100 *вт/кг*). Этим вызваны след. конструктивные особенности Т. для и. н.: интенсивное (обычно водяное) охлаждение обмоток и магнитопровода; применение спец. типов обмоток, рассчитанных на макс. использование сечения меди при сильно выраженном поверхностном эффекте.

Различают Т. для и. н. повышенной частоты (до 10 000 *гц*) и Т. для и. н. ВЧ (выше 10 000 *гц*). Первые изготовляются со стальным магнитопроводом, а вторые — без магнитопровода или с магнитопроводом из феррита. Т. для и. н. повыш. частоты подразделяются по назначению на «закалочные» тр-ры для питания индукторов закалочных установок, рассчитанные на вторичные напряжения 8—200 *в* при больших токах (до 30 000 *а*), и «нагревательные» тр-ры для питания различных индукц. нагреват. устройств, напр. для нагрева заготовок под ковку и штамповку, рассчитанные на вторичные напряжения 150—1000 *в* при соответственно меньших токах. Напряжения, подаваемые на первичную обмотку тр-ра, составляют обычно 375—800 *в*. Т. для и. н. ВЧ используются в ламповых генераторах и выполняются обычно для первичных напряжений 2—11 *кв* и вторичных напряжений порядка сотен *в*. Т. для и. н. повыш. частоты выполняются с броневым магнитопроводом (в нек-рых конструкциях применяются стержневые и ленточные тороид. магнитопроводы) и различаются по типу обмоток, выполняемых однослойными концентрическими, дисковыми или «шахматными». В нек-рых случаях удается применить чередующиеся концентрич. обмотки. В результате сильного проявления поверхностного эффекта и «эффекта близости» во всех проводниках каждой из обмоток ток протекает лишь в тонком поверхностном слое на сторонах, обращенных к соседним проводникам другой обмотки. В зависимости от структуры обмоток (рис.) имеет место различное использование сечения меди. В частности, при равных габаритах магнитопровода активное сопротивление дисковых и шахматных обмоток может быть снижено в 3 и более

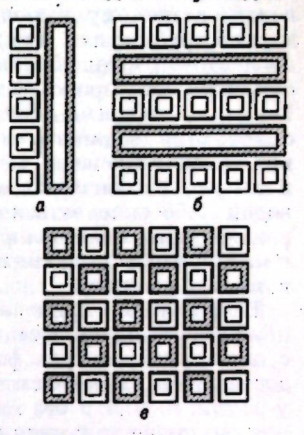


Схема сечения обмоток тр-ра для индукционного нагрева: *а* — однослойные концентрические; *б* — дисковые чередующиеся; *в* — шахматные. Жирной линией показано распределение тока.

раз по сравнению с сопротивлением однослойных концентрич. обмоток. Обмотки, рассчитанные на макс. токи, снабжаются «скомпенсированными» выводными частями из чередующихся пластин обеих фаз. Т. для и. н. ВЧ могут быть с ферритовым магнитопроводом и без него. Первые отличаются значительно меньшими габаритами и относительно слабыми внешними полями, что облегчает их встраивание в технологич. оборудование. Ввиду сравнительно небольших токов обмотки Т. для и. н. ВЧ выполняются гл. обр. однослойными концентрическими: первичная — многовитковая в виде цилиндрич. спирали; вторичная —

Таблица 1

Наименование параметров	Единица измерения	Тип тр-ра ВТО-500	ТВД-3	ТВШ-3
Номин. частота	*гц*	2400/8000	2400/8000	2400/8000
Номин. первичное напряжение	*в*	375—750	375—750	375—750
Пределы изменений коэфф. трансформации при хх		16—30	5—58	1—5
Число ступеней коэфф. трансформации		1—5 *	44	9
Макс. вторичное напряжение при хх	*в*	33/39	100/120	750/750
Макс. первичный ток	*а*	1100/800	3000/2700	2800/2200
Макс. вторичный ток	*а*	17500/13500	30000/25000	12000/9000
Макс. отдаваемая кажущаяся мощность на высшей ступени вторичного напряжения	*ква*	550/450	2200/2000	2400/2000
Сопротивление кз, приведенное к одному витку	*ом*	$\frac{2{,}8\cdot10^{-4}}{7{,}5\cdot10^{-4}}$	$\frac{1\cdot10^{-4}}{2{,}5\cdot10^{-4}}$	$\frac{0{,}6\cdot10^{-4}}{1{,}5\cdot10^{-4}}$
Габаритные размеры:				
высота	*мм*	445	510	500
ширина	*мм*	360	490	440
длина	*мм*	415	575	450
Общий вес	*кг*	90	227	150

* В зависимости от заказа.

Таблица 2

Наименование параметров	Единица измерения	Тип тр-ра ЛЗ-13	ЛЗ1-25	ЛЗ-67В	ЛПЗ-67В	АЗ-107	ЛЗ-207
Номин. частота*	*кгц*	375	70	70	70	70	70
Номин. первичное напряжение	*кв*	6	4	7	7	7	7
Кажущаяся мощность*	*ква*	550	2000	2350	2350	3100	6200
Число витков первичной обмотки*		15	19	16	16	14	9
Габаритные размеры							
высота	*мм*	250	350	320	320	320	320
внутр. диаметр	*мм*	315	290	540	540	540	540

* Величины указаны приблизительно.

одновитковая в виде разрезного цилиндра, охватывающего первичную обмотку. Обмотки Т. для и. н. обычно охлаждаются проточной водой, а поэтому катушки выполняются из медной трубки или в виде коробок, спаянных из листовой меди. Стальные магнитопроводы охлаждаются проложенными через каждые 1—2 *см* медными радиаторными листами с трубками водяного охлаждения. Ферритовые магнитопроводы могут быть помещены в кожух и охлаждаться маслом или проточной водой либо склеиваться с водоохлаждаемыми радиаторами. Взаимное расположение обмоток и магнитопровода такое же, как у тр-ров обычного исполнения.

Т. для и. н., применяемые в эксперимент. и универс. индукц. установках, выполняются с перем. коэфф. трансформации. Обычно это достигается изменением числа витков обмоток; у Т. для и. н. ВЧ без магнитопровода применяется также взаимное перемещение обмоток или поворот одной из них. При малом коэфф. трансформации Т. для и. н. обычно выполняются в виде автотрансформаторов, что в этом случае значительно сокращает потери. Осн. данные нек-рых типов Т. для и. н. повыш. частоты см. в табл. 1, Т. для и. в. ВЧ без магнитопроводов — в табл. 2 (по данным на июнь 1964).

Лит.: Вологдин В. В., Слухоцкий А. Е., Трансформаторы для высокочастотного нагрева, М.—Л., 1957; Тир Л. Л., Трансформаторы для установок индукционного нагрева повышенной частоты, М.—Л., 1961; Демичев А. Д., Благовещенский Г. В., Высокочастотный трансформатор с ферритовым магнитопроводом, в сб.: Высокочастотные электротермические установки, М.—Л., 1961.

Л. Л. Тир.

ТРАНСФОРМАТОР ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЙ (measuring transformer; transformateur de mesure; Meßtransformator) — калиброванный тр-р, снижающий величину перем. напряжения или тока до значения, удобного для измерения стандартным прибором. Т. и. позволяет расширять пределы измерения токов и напряжений, а также изолировать цепи измерит. приборов от цепей высокого напряжения. Т. и. делятся на тр-ры тока и тр-ры напряжения. В Т. и. тока первичная обмотка включается в цепь последовательно с нагрузкой, а вторичная — подключается к измерит. приборам с малым сопротивлением (амперметры, последовательные цепи ваттметров, счетчиков, фазометров). В Т. и. напряжения первичная обмотка подключается параллельно нагрузке, а вторичная — к приборам с большим сопротивлением (вольтметры и параллельные цепи ваттметров, счетчиков, фазометров).

Сила тока в первичной и вторичной цепях, первичное и вторичное напряжения, нагрузка и частота, определяющие расчетный (нормальный) режим работы Т. и., наз. номинальными. Т. и. делятся на четыре класса точности (0,05; 0,1; 0,2; 0,5), к-рые характеризуются максимально допустимыми значениями погрешности тока (напряжения) и угловой погрешности при определ. режимах работы тр-ра (ГОСТ 9032—59). Погрешностью тока наз. выраженное в процентах отношение разности между приведенным значением вторичного тока и действит. значением первичного тока к действит. значению первичного тока. Под приведенным значением вторичного тока понимается значение этого параметра, пересчитанное через коэфф. трансформации в первичную цепь.

Угловой погрешностью Т. и. тока наз. угол между вектором первичного тока и вектором вторичного тока. Аналогичные отношения определяют погрешности Т. и. напряжения. Угловая погрешность выражается в угловых минутах. Соответственно Т. и. имеют данные, приведенные в таблице.

Класс точности	Трансформатор тока			Трансформатор напряжения		
	первичный ток в % от номинального	допускаемые значения погрешностей		первичное напряжение в % от номинального	допускаемые значения погрешностей	
		токовой (%)	угловой (мин.)		напряжения (%)	угловой (мин.)
0,05	10—120	±0,05	±2	90 100 110	±0,05	±2
0,1	10 20 100—120	±0,25 ±0,2 ±0,1	±10 ±8 ±5	20 50 20—120	±0,5 ±0,2 ±0,1	±25 ±10 ±5
0,2	10 20 100—120	±0,5 ±0,35 ±0,2	±20 ±15 ±10	20 50 80—120	±1,0 ±0,4 ±0,2	±50 ±20 ±10
0,5	10 20 100—120	±1,0 ±0,75 ±0,5	±60 ±50 ±30	20 50 80—120	±2,5 ±1,0 ±0,5	±100 ±40 ±20

По конструкции Т. и. делятся на стационарные и переносные; стационарные в свою очередь — на проходные и опорные, служащие соответственно проходными изоляторами в распределит. устройствах и изоляторами при монтаже сетей высокого напряжения. Переносные Т. и. выполняются т. о., чтобы была возможность использовать их на неск. номин. значений первичных токов и напряжений.

Лит.: Арутюнов В. О., Электрические измерительные приборы и измерения, М.—Л., 1958.

И. С. Хаенко.

ТРАНСФОРМАТОР ИМПУЛЬСНЫЙ (pulse transformer; transformateur à impulsions; Impulstransformator) — тр-р для преобразования напряжений или токов импульсного характера. Т. и. применяется в качестве *трансформатора согласующего*, для изменения полярности импульсов, исключения постоянной составляющей тока, сложения импульсных сигналов и т. д. Эквивалентная схема Т. и. представлена на рис. 1. Особенность Т. и.—

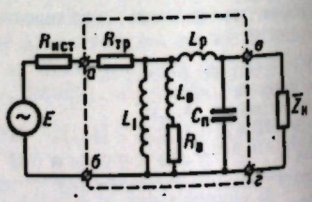


Рис. 1. Эквивалентная схема импульсного тр-ра: E — напряжение источника сигналов; $R_{ист}$ — внутреннее сопротивление источника; $R_{тр}$ — сопротивление первичной обмотки тр-ра; L_1 — индуктивность первичной обмотки тр-ра; $L_в$, $R_в$ — эквивалентная цепь вихревых токов; $L_р$ — индуктивность рассеяния; $C_п$ — паразитная емкость; $Z_н$ — сопротивление нагрузки.

широкополосность, т. к. импульсы, подлежащие передаче, как правило, имеют крутой фронт нарастания и спада, характерный при наличии ВЧ составляющих.

Для идеального Т. и. напряжение, наводимое во вторичной обмотке, пропорционально напряжению, прилагаемому к его входу.

Напряжение на первичной обмотке для этого случая может быть представлено в виде:

$$U_1 = L_1\, di_1/dt,$$

где L_1 — индуктивность первичной обмотки, i_1 — ток в первичной обмотке. Если учитывать внутр. сопротивление источника сигнала и сопротивление первичной обмотки Т. и. (рис. 2, *в*), то

$$U_1 = L_1 \frac{di_1}{dt} + (R_{ист} + R_{тр})\, i_1.$$

Следовательно, напряжение на обмотке Т. и., как правило, не будет прямо пропорционально

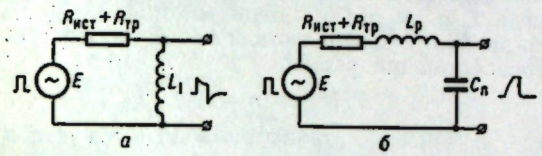


Рис. 2. Эквивалентная схема импульсного тр-ра: *а* — для НЧ; *б* — для ВЧ.

току, и Т. и. будет вносить в передаваемый импульс искажения, подобные вносимым любой цепью LR (в передаваемом импульсе будет завалена вершина и появится «хвост» после импульса), объясняющиеся ослаблением НЧ составляющих спектра импульса первичной обмоткой. Кроме того, Т. и. вносит искажения в передний и задний фронты передаваемого импульса, величина к-рых определяется индуктивностью рассеяния обмоток и паразитной емкостью Т. и. (рис. 2, *б*). Индуктивность рассеяния зависит от той части магнитного потока, к-рая проходит только через одну из обмоток Т. и. Паразитная емкость слагается из межвитковых и межслойной емкостей обмоток. Из эквивалентной схемы Т. и. следует, что при передаче прямоугольного импульса ток в первую очередь устанавливается в индуктивности рассеяния $L_р$ и заряжается емкость $C_п$, что и определяет завал переднего фронта импульса. Затем устанавливаются вихревые токи в сердечнике Т. и. Скорость нарастания тока наименьшая в индуктивности намагничивания L_1, где оно происходит линейно в течение всей длительности импульса. Соотношение между его длительностью и постоянной времени $L_1/(R_{ист}+R_{тр})$ будет определять наклон плоской вершины прямоугольного импульса. После окончания импульса в первичной обмотке Т. и. энергия, накопленная в индуктивностях L_1, $L_р$ и емкости $C_п$, будет отдаваться нагрузке $Z_н$ и частично сопротивлению источника сигнала. Характер комплексного сопротивления нагрузки $Z_н$ существенно влияет на искажение формы заднего фронта импульса.

Т. и. выполняются со сравнительно небольшим числом витков тороид. намотки на пермаллоевых или ферритовых кернах с высоким значением магнитной проницаемости. Применение получила кремнистая холоднокатаная электротехнич. сталь высокой проницаемости марок Э-310, Э-320 и Э-330. Правильно выполненный Т. и. позволяет передавать без существенных искажений импульсы длительностью до 0,1—0,3 *мксек*.

Лит.: Ицхоки Я. С., Импульсные устройства, М., 1959; Базь Г. А. [и др.], Расчет импульсных схем, 2 изд., М., 1962.

И. А. Стрельцов.

ТРАНСФОРМАТОР МЕЖКАСКАДНЫЙ [inter-stage transformer; transformateur intermédiaire de cascade (de liason); Stufentransformator] — тр-р, включаемый между каскадами усилительного тракта НЧ для согласования выходного сопротивления предыдущего каскада с входным сопротивлением последующего. Т. м. необходим, напр., при переходе от предоконечного каскада к мощному выходному каскаду, работающему с сеточными токами, при переходе от однотактной схемы к двухтактной (см. *Усилитель мощности*) и во всех случаях, когда требуется согласовать входные и выходные сопротивления смежных каскадов. В качестве согласующего элемента Т. м. наиболее часто применяется в *усилителе на транзисторе*. Тр-ры, применяемые в *усилителе на трансформаторах*, также являются Т. м. Тр-ры ВЧ, устанавливаемые между усилит. и преобразоват. каскадами трактов высокой и промежуточной частот, выполняют иногда, кроме выделения сигнала, дополнит. задачу согласования выходного и входного сопротивления соседних каскадов. Однако под Т. м. подразумеваются только соответствующие тр-ры НЧ.

И. А. Минаєян.

ТРАНСФОРМАТОР НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ (low frequency transformer; transformateur à basse fréquence; Niederfrequenztransformator) — тр-р, предназначенный для преобразования напряжений звукового диапазона частот. В отличие от электрич. силовых тр-ров, работающих на одной определ. частоте питающей сети (50, 400, 2000 *гц* и т. п.), Т. н. ч. работают в полосе частот от единиц *гц* до 15—20 *кгц*, что требует спец. мер против внесения заметных амплитудных и фазовых искажений. По функцион. назначению Т. н. ч. делятся на три группы: *трансформаторы входные* (применяются в усилителях для ленточных и динамич. микрофонов, магнитной звукозаписи и др.), *трансформаторы межкаскадные* (применяются для согласования предоконечного каскада с входным сопротивлением оконечного), *трансформаторы выходные* (применяются для согласования выходной цепи усилителя с нагрузкой).

Полная эквивалентная схема Т. н. ч. (рис. 1) может быть упрощена, если пренебречь, ввиду их малости, междувитковой емкостью первичной цепи C_1, потерями, на гистерезис $R_г$, сопротивлением $R_в$ и индуктивностью $L_в$ (рис. 2, *а*), Емкость C_{1-2} между обмотками можно отнести ко вторичной цепи, а сопротивление r_1 — к выходному сопротивлению источника. Из рассмотрения эквивалентной

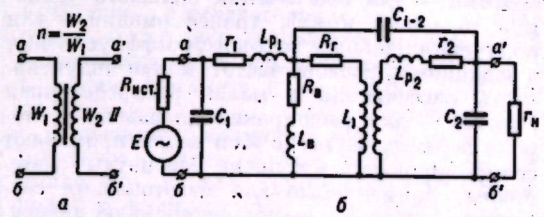


Рис. 1. Схемы тр-ра НЧ: *а* — принципиальная; *б* — полная эквивалентная (W_1, W_2 — число витков в обмотках; n — коэфф. трансформации; $R_{ист}$ — выходное сопротивление источника; C_1, C_2 — емкость первичной и вторичной обмоток; C_{1-2} — емкость между обмотками; r_1, r_2 — сопротивления обмоток тр-ра; $L_{р_1}$, $L_{р_2}$ — индуктивности рассеивания обмоток; $R_г$ — сопротивление, эквивалентное потерям на гистерезис; $R_в$, $L_в$ — сопротивление и индуктивность, эквивалентные потерям на вихревые токи; L_1 — действующая индуктивность; $r_н$ — сопротивление нагрузки).

схемы Т. и. ч. для нижних частот звукового диапазона (рис. 2,*б*) следует, что с понижением частоты напряжение, выделяемое на сопротивлении нагрузки $R_н$, будет уменьшаться, т. к. уменьшается сопротивление индуктивности намагничивания L_1. Анализ эквивалентной схемы для верхних частот звукового диапазона (рис. 2,*в*) показывает, что шунтирующим

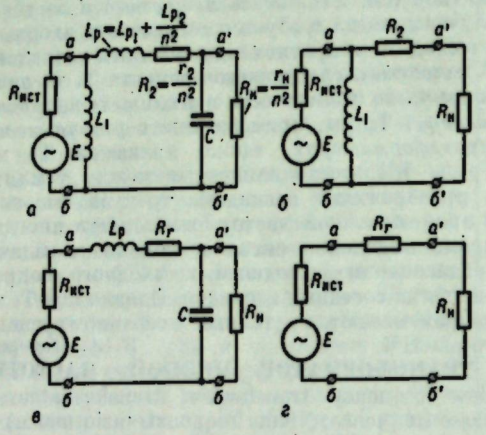


Рис. 2. Эквивалентные схемы тр-ра НЧ: *а* — упрощенная; *б* — для нижних частот; *в* — для верхних частот; *г* — для средних частот.

действием индуктивности намагничивания L_1 можно пренебречь, т. к. ее индуктивное сопротивление много больше индуктивного сопротивления $L_р$ и сопротивления нагрузки $R_н$. С повышением частоты увеличивается индуктивное сопротивление $L_р$, а напряжение на сопротивлении $R_н$ уменьшается. На ср. частотах (рис. 2,*г*) шунтирующее действие индуктивности намагничивания L_1 еще мало, так же как мало индуктивное сопротивление $L_р$. Поэтому усиление (коэфф. передачи) Т. и. ч. практически не зависит от частоты, вследствие чего частотная хар-ка на этих частотах практически равномерна. Из анализа эквивалентной схемы вытекают след. осн. требования к Т. и. ч.: высокая индуктивность первичной обмотки — для обеспечения большого усиления; большой коэфф. трансформации — для получения наиболее высокого коэфф. усиления в заданном диапазоне частот; малая индуктивность рассеивания и малая распределенная емкость — для расширения диапазона в сторону верхних частот (с этой целью применяют секционирование катушек). Магнитные материалы, применяемые для изготовления сердечников Т. и. ч., имеют нелинейную зависимость индукции от магнитного поля (петля гистерезиса), и даже при чисто синусоид. напряжении на входе Т. и. ч. ток намагничивания содержит высшие гармоник. составляющие, т. е. возникают нелинейные искажения, особенно заметные при больших уровнях сигналов. Поэтому при проектировании мощных Т. и. ч., работающих в предоконечных и оконечных каскадах ламповых усилителей, особое внимание уделяется выбору материала сердечника и его загрузке магнитным потоком. Применение для сердечников Т. и. ч. материалов с большой магнитной проницаемостью увеличивает возможный частотный диапазон передачи напряжения при данных размерах тр-ра. В большинстве случаев для Т. и. ч. применяются сердечники из кремнистых сталей. Особенно ценна сталь ХВП. Проницаемость ее в сильных полях повышена в направлении прокатки. Кроме кремнистых сталей, применяются сплавы типа пермаллой, а также магнитодиэлектрики.

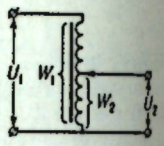
Лит.: Цыкин Г. С., Трансформаторы низкой частоты. Теория, расчет и конструирование, 2 изд., М., 1955.

И. А. Стрельцов.

ТРАНСФОРМАТОР ОДНООБМОТОЧНЫЙ, автотрансформатор (single winding transformer; transformateur à enroulement unique; Kurzschlußtransformator), — трансформатор, имеющий одну обмотку с одним или неск. промежуточными выводами. При небольших коэфф. трансформации Т. о. дает экономию обмоточного провода. Отношение объема меди Т. о. к объему меди многообмоточного тр-ра той же мощности и с тем же коэфф. трансформации равно:

$$V_0/V_м = (n-1)/n,$$

где n — коэфф. трансформации. Недостаток Т. о., определяющий его сравнительно огранич. применение, — невозможность электрич. обособления цепей. Т. о. используются как преобразователи напряжения в пусковых устройствах электродвигателей перем. тока, в схемах релейной защиты и др. Регулируемые Т. о. дают возможность благодаря механич. перемещению точки отвода вторичного напряжения сохранить его постоянным при изменениях первичного напряжения (рис.). Расчет Т. о. производится подобно расчету *трансформатора силового.*



Электрич. схема однообмоточного трансформатора.

И. А. Стрельцов.

ТРАНСФОРМАТОР ПИТАНИЯ, трансформатор выпрямительный малой мощности [supply (power) transformer; transformateur d'alimentation; Speisetransformator]. Осн. особенность Т. п.— подключение к вторичным (вентильным) обмоткам электрич. вентилей, оказывающее существ. влияние на режим работы тр-ра и физич. процессы в нем.

В выпрямит. схемах с выводом нулевой точки от вентильной обмотки (в однофазной двухполупериодной и трехфазной нулевой схемах), а также в однофазной однополупериодной схеме выпрямления, в каждом из стержней магнитопровода Т. п. возникают неизменные по величине и направлению магнитные потоки (т. н. потоки вынужд. намагничивания), идущие от ярма к ярму и замыкающиеся по воздуху. Хотя потоки вынужд. намагничивания Т. п. малой мощности относительно невелики, однако они значительно ухудшают условия его работы (рис. 1). При наличии пост. подмагничивания (B_0): 1) увеличивается перем. намагничивающая сила $F_1' > F_1$, что приводит к увеличению намагничивающего тока первичной (сетевой) обмотки;

2) увеличивается площадь петли гистерезиса (площадь $A'B' >$ площади AB), что приводит к увеличению потерь в магнитопроводе и к возрастанию активной составляющей тока хх сетевой обмотки;

3) вследствие несимметричности петли гистерезиса относительно осей, проведенных через рабочую точку 0′, появляются четные гармонические тока в сетевой обмотке и напряжения — на зажимах вентильной обмотки Т. п.

В двухполупериодной и трехфазной схемах можно избежать потока однонаправленного намагничивания, если выполнять вентильные обмотки каждой фазы из двух последовательно соединенных секций, расположенных на двух стержнях магнитопровода.

Во всех выпрямит. схемах (кроме однофазной мостовой схемы выпрямления, работающей на чисто активную нагрузку) форма

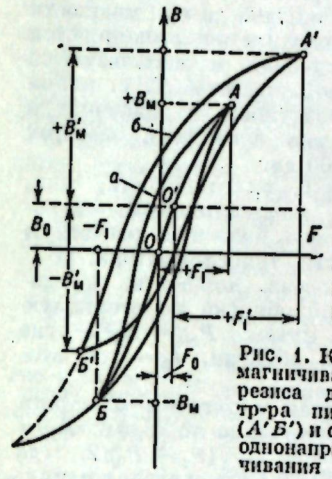


Рис. 1. Кривая первонач. намагничивания и петли гистерезиса для магнитопровода тр-ра питания при наличии ($A'Б'$) и отсутствии ($AБ$) пост. однонаправленного намагничивания с намагничивающей силой F_0.

токов в обмотках Т. п. значительно разнится от синусоидальной; в отличие от обычных тр-ров, неодинакова также форма токов в сетевых и вентильных обмотках Т. п. В связи с этим расчетные мощности сетевых и вентильных обмоток Т. п. (т. е. сумма произведений действующих значений тока и напряжения каждой из фазных обмоток) в общем случае отличаются друг от друга. Так, для нулевых схем суммарная расчетная мощность вентильных обмоток больше суммарной расчетной мощности сетевых обмоток.

Габаритные размеры, вес и стоимость Т. п. являются ф-цией его типовой мощности, определяемой как полусумма расчетных мощностей сетевых и вентильных обмоток.

По конструкции магнитопровода и обмоток Т. п. ничем не отличаются от обычных т-ров малой мощности, характерные особенности к-рых: 1) использование нормализованных пластинчатых и ленточных магнитопроводов стержневого и броневого типов;

2) преимуществ. использование открытых конструкций обмоток, размещаемых на гильзах или каркасах и имеющих спец. влагозащитное покрытие;

3) размещение выводов для включения Т. п. в схему непосредственно на его катушке.

Т. п. применяются гл. обр. в радиоэлектронных устройствах и в устройствах автоматизации производств. процессов. В подобных установках Т.п. часто используется как для получения нескольких выпрямл. напряжений, так и для получения перем. напряжений (напр., для питания цепей накала). В этом случае Т. п. содержит несколько вторичных обмоток и наз. многообмоточным (рис. 2, *а*).

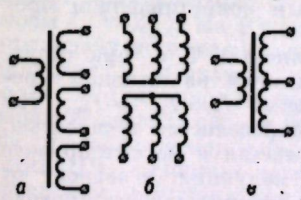


Рис. 2. Осн. схемы тр-ров питания.

В многофазных схемах выпрямления малой мощности используются как однофазные Т. п., соединяемые в трехфазные группы (рис. 2, *б*), так и Т. п., выполняемые на трехфазных нормализов. магнитопроводах.

Т. п. могут преобразовывать не только величину сетевого напряжения, но и число фаз. Наиболее часто они применяются для преобразования однофазного напряжения в двухфазное (со сдвигом между фазами 180°) в двухполупериодной схеме выпрямления с нулевым выводом (рис. 2, *в*).

В аппаратуре, к к-рой предъявляются повыш. требования в части уменьшения габаритов и веса, для питания Т. п. используются не только пром. частота (50 *гц*), но и повыш. частота (400 *гц*). Частота 400 *гц* позволяет (по сравнению с 50 *гц*) уменьшить вес Т. п. в 2—3 раза, а габариты — на 20—30%.

Радиоэлектронные устройства предъявляют весьма высокие требования к пульсациям выпрямл. напряжения, и поэтому выпрямители для них снабжаются сглаживающими фильтрами. Входными элементами фильтров служат емкость или индуктивность. Входные элементы фильтров оказывают существ. влияние на режим работы Т. п., поэтому тр-ры рассчитываются совместно с выпрямителем. Данные для расчета Т. п., работающих на входную емкость, приведены в ст. *Кенотронный выпрямитель*; данные для расчета Т. п., работающих на нагрузку, начинающуюся с индуктивности, — в ст. *Трансформатор выпрямительный*. По вопросам расчета Т. п. см. также [1]. Ряд выходных напряжений Т. п. нормирован ГОСТом 10763—64 «Трансформаторы питания маломощные».

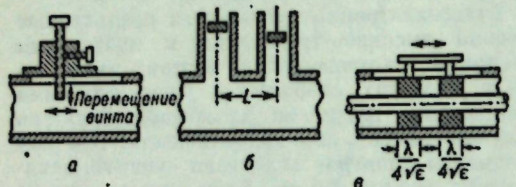
Лит.: 1) Белопольский И. И., Пикалова Л. Г., Расчет трансформаторов и дросселей малой мощности, М.—Л., 1963; 2) Терентьев Б. П., Электропитание радиоустройств, М., 1948.

И. И. Белопольский.

ТРАНСФОРМАТОР СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ, трансформатор полных сопротивлений (microwave transformer; transformateur très haute fréquence;— UHF—Transformator), —трансформатор, предназначенный для изменения амплитуды и фазы стоячих волн в линиях передачи дециметрового, сантиметрового или миллиметрового диапазона. Т. с. ч. применяется для согласования полных сопротивлений (т. е. устранения отражений) или для получения заданного рассогласования. Его действие основано на использовании интерференции электромагнитных волн. Введение Т. с. ч. в линию приводит к появлению дополнит. отраженных волн, к-рые интерферируют с имеющимися в линии и либо полностью их погашают (согласование), либо изменяют амплитуду и фазу суммарной отраженной волны т. о., что входное полное сопротивление линии становится равным заданной величине. Наиболее распространены Т. с. ч. четвертьволновые, типа одиночной передвижной реактивной проводимости, 2- и 3-шлейфовые, с диэлектрическими шайбами или пластинами, *фазовращатели*.

Четвертьволновый Т. с. ч. представляет собой отрезок коаксиальной или волноводной линии длиной $\lambda_в/4$ ($\lambda_в$ — длина волны в линии) с выбранным определенным образом волновым сопротивлением. Поскольку длина трансформирующей секции устанавливается с расчетом на известную длину волны, диапазон частот, в к-ром сохраняется приемлемое согласование, весьма ограничен. Т. с. ч. типа одиночной передвижной реактивной проводимости выполняется обычно в виде винта (рис. *а*)

с регулируемой глубиной погружения, помещенного в щель посередине широкой стенки прямоугольного волновода. Образованная т. о. неоднородность обладает св-вами емкостной проводимости, если глубина погружения винта меньше четверти длины волны в свободном пространстве $\lambda/4$, и индуктивной проводимости, если глубина погружения больше $\lambda/4$. Шлейфовый Т. с. ч. представляет собой отрезок коаксиальной или волноводной линии с ответвлениями (шлейфами), каждый из к-рых замкнут подвижным поршнем и удален от другого на расстояние L, к-рое отличается



Некоторые типы тр-ров СВЧ: *а* — с передвижным винтом перем. глубины погружения; *б* — двухшлейфовый волноводный тр-р (шлейфы в плоскости E прямоугольного волновода); *в* — коаксиальный тр-р СВЧ с диэлектрич. шайбами.

от половины длины волны (рис. *б*). Существует область значений проводимостей, к-рые не могут быть согласованы двухшлейфовым Т. с. ч., и чем ближе L к $\lambda_в/4$, тем эта область больше. С помощью трехшлейфового Т. с. ч. возможно согласование любых конечных проводимостей. Методика согласования упрощается, если $L \approx {}^1/_8\lambda_в$ или $L \approx {}^3/_8\lambda_в$. В коаксиальном Т. с. ч. с диэлектрическими шайбами толщиной $\lambda/4\sqrt{\varepsilon}$ (ε — относит. диэлектрич. проницаемость материала шайб) шайбы могут перемещаться как одна по отношению к другой, так и совместно при неизменном расстоянии между ними (рис. *в*). Расстояние между шайбами определяет величину коэфф. стоячей волны, а их положение при одноврем. перемещении — фазу стоячей волны. Макс. величина коэфф. стоячей волны нагрузки, при к-рой возможно согласование, равна ε^2. Для изменения фазы стоячей волны применяются коаксиальные и волноводные фазовращатели. В качестве фиксированных Т. с. ч. используются отрезки неоднородных передающих линий. Простейший пример такого Т. с. ч. — конический переход, с помощью к-рого согласовываются волноводные или коаксиальные линии с различными волновыми сопротивлениями.

Лит.: Лебедев И. В., Техника и приборы сверхвысоких частот, т. 1, М.—Л., 1961; Линии передачи сантиметровых волн, пер. с англ., ч. 2, М., 1951; Фельдштейн А. Л., Явич Л. Р., Смирнов В. П., Справочник по элементам волноводной техники, М.—Л., 1963.

Л. Л. Москвитин.

ТРАНСФОРМАТОР СИЛОВОЙ (power transformer; transformateur d'alimentation; Netztransformator) — устройство для повышения или понижения напряжения при передаче электрической энергии из одной цепи в другую. Различают следующие типы Т. с.: по напряжению — низковольтные (до 1000 *в*), высоковольтные (свыше 1000 *в*); по частоте питающей сети — пром. частоты (50 *гц*) и повыш. частоты (400—2400 *гц*); по числу фаз — однофазные, трехфазные; по коэфф. трансформации — повышающие и понижающие; по мощности — малой (до 4 *ква*), средней (до 50 *ква*) и большой (свыше 50 *ква*); по конструкции магнитопровода — стержневые, броневые и тороидальные; по конструкции обмоток — катушечные и галетные; по степени герметичности — открытые и закрытые. Т. с. большой и ср. мощности в подавляющем большинстве выполняются с масляным охлаждением и используются в силовых сетях пром. частоты. Т. с. малой мощности имеют воздушное охлаждение и используются не только в цепях с частотой 50 *гц*, но и 400—2400 *гц*.

Осн. параметры Т. с.: мощность, кпд, ток хх I_0, коэфф. мощности $\cos\varphi$. Различают электромагнитную, полезную, расчетную и типовую мощности трансформатора.

Электромагнитной наз. мощность, передаваемая из первичной обмотки во вторичную электромагнитным путем: $P_{эм} = E_2 I_2$, где E_2 — эдс вторичной обмотки, I_2 — ток вторичной обмотки.

Полезная, расчетная и типовая мощности определяются соответственно по ф-лам: $P_2 = V_2 I_2$; $P_1 = V_1 I_1$; $P_{тип} = (P_1 + P_2)/2$, где V_1, V_2, I_1 и I_2 — эффективные значения напряжений и токов первичных и вторичных обмоток Т. с.

В процессе работы Т. с. в его магнитопроводе (в стали) и в обмотках (в меди) теряется нек-рая часть подводимой к нему энергии. Отношение полезной мощности, отдаваемой в нагрузку, к мощности, потребляемой Т. с. из сети, является кпд тр-ра:

$$k = P_2/(P_2 + P_{ст} + P_м),$$

где $P_{ст}$ — потери в стали, $P_м$ — потери в меди. Потери в стали складываются из потерь на гистерезис при циклич. перемагничивании стали (ок. 90%) и потерь на вихревые токи, возникающие в толще материала сердечника (ок. 10%), и в основном определяются частотой питающей сети и качеством магнитного материала.

Для снижения потерь в стали в качестве магнитопровода используются листовые материалы с малым магнитным сопротивлением. Тип материала и толщина пластин определяются частотой перем. напряжения. При частоте 50—400 *гц* используют листовую электротехнич. сталь типа Э44 и др. с толщиной ленты 0,35—0,5 *мм*; при частоте 400—1000 *гц* — холоднокатаную сталь типа ХВП с толщиной ленты 0,05—0,15 *мм*; при частоте выше 1000 *гц* — спец. сплавы типа 50НП и др. с толщиной ленты 0,02—0,05 *мм*. Потери в обмотках (потери в меди) обусловлены активным сопротивлением проводов.

Ток хх I_0, потребляемый Т. с. при отсутствии нагрузки, слагается из активной и реактивной составляющих: $I_0 = I_{0a} + I_{0p}$, где $I_{0a} = P_{ст}/V_1$, а I_{0p} определяется мощностью, необходимой для создания в магнитопроводе заданного значения индукции, и зависит от геометрич. размеров, формы магнитопровода и размера воздушного зазора в нем. Обычно ток хх Т. с. не превышает 10% от рабочего тока первичной обмотки.

Коэфф. мощности $\cos\varphi$ — отношение активной мощности к мощности, потребляемой Т. с. из сети: $\cos\varphi = (P_2 + P_{ст} + P_м)/P_1$. Наиболее полно качество Т. с. характеризует энергетич. коэфф.: $K\cos\varphi = P_2/P_1$. Осн. исходные данные, определяющие параметры и конструкцию Т. с.: выходная мощность (ток, напряжение); частота; число фаз питающей сети; условия эксплуатации.

Для устройств радио и автоматики промстью серийно выпускаются однофазные Т. с. малой мощности, рассчитанные на частоту 50 *гц* и 400 *гц* (см. *Трансформатор питания*).

Лит.: Федосеев Д. И., Технология изготовления силовых трансформаторов и дросселей, применяемых в радиотехнике, М.—Л., 1959.

И. М. Уманский.

ТРАНСФОРМАТОР СОГЛАСУЮЩИЙ [matching transformer; transformateur d'adaptation (de liaison); Anpassungstransformator] — тр-р, предназначенный для согласования с нагрузкой (потребителем) выходных сопротивлений источника энергии для отдачи в последнюю макс. мощности. Если источник эдс E с внутренним сопротивлением $Z_{ист}$ нагружен на сопротивление нагрузки $Z_н$ (рис. 1), то мощность, выделяемая на нагрузке:

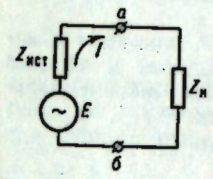


Рис. 1. Схема включения нагрузки без согласующего трансформатора.

$$P_н = I^2 Z_н = E^2 Z_н/(Z_{ист} + Z_н)^2.$$

Мощность на нагрузке будет максимальной, когда $Z_н = Z_{ист}$:

$$P_{н\,макс} = \frac{E^2 Z_н}{(2Z_н)^2} = \frac{E^2}{4Z_н} = \frac{E^2}{4Z_{ист}}.$$

В случае, когда $Z_{ист} > Z_н$ или $Z_{ист} < Z_н$, мощность $P_н < P_{н\,согл}$, т. к.

$$\frac{P_н}{P_{н\,согл}} = \frac{E^2 Z_н}{(Z_{ист} + Z_н)^2}\,\frac{4Z_{ист}}{E^2} = \frac{4Z_н}{Z_{ист}(1 + Z_н/Z_{ист})^2} < 1 \text{ и } \begin{matrix} \text{при } Z_н > Z_{ист} \\ \text{при } Z_н < Z_{ист} \end{matrix}.$$

Если сопротивления $Z_н$ и $Z_{ист}$ носят комплексный характер, то условием передачи макс. мощности будет равенство по величине активных составляющих и равенство по величине и противоположность по знаку реактивных составляющих. Согласование сопротивлений (импедансов) обеспечивают включением между источником энергии и потребителем Т. с. (рис. 2), изменяющего эквивалентное сопротивление нагрузки в n^2 раз, где n — коэфф. трансформации Т. с., выбранный так, чтобы $Z_н \cong Z_{ист}$. На ВЧ отсутствие согласования между источником сигналов и нагрузкой приводит к появлению отраженной от $Z_н$ волны, т. е. к образованию стоячих волн и изменению режима работы источника колебаний (см. *Трансформатор сверхвысоких частот*).

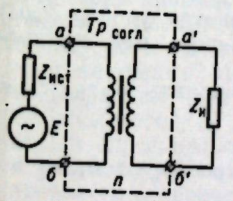


Рис. 2. Схема включения нагрузки через согласующий трансформатор.

Все НЧ, выходные, межкаскадные и измерительные тр-ры являются Т. с. *И. А. Стрельцов.*

ТРАНСФОРМАТОРНАЯ СВЯЗЬ (transformer coupling; couplage par transformateur; Transformatorkopplung) — связь источника энергии с нагрузкой при помощи взаимоиндукции. Применяется: в *усилителе низкой частоты*; в *усилителе резонансном* для связи контура с анодной цепью лампы или коллекторной цепью триода, причем первичная обмотка высокочастотного тр-ра образует апериодич. контур; в *усилителе промежуточной частоты* и *усилителе высокой частоты* с *индуктивной связью*; во входных цепях приемника для связи с антенной. Широкое применение Т. с. объясняется ее большой гибкостью в согласовании сопротивлений (что особенно важно в транзисторных усилителях с общей базой), высоким коэфф. усиления на каскад в усилителях на тр-рах, возможностью удобного перехода от симметричных к несимметричным схемам и обратно, хорошими селективными свойствами резонансных усилителей при применении связанных контуров, а также экономичностью конструкций. *М. Е. Альбац.*

ТРАНСФОРМАЦИИ КОЭФФИЦИЕНТ (transformation ratio; rapport de transformation; Übersetzungsverhältnis) — осн. параметр тр-ра, определяющий связь между напряжениями, токами и сопротивлениями первичного и вторичного контуров тр-ра: $U_1 = \eta U_2$; $I_1 = I_2/\eta$; $R_1' = R_1/\eta^2$, где R_1' — активное сопротивление первичной обмотки, приведенное ко вторичному контуру. Т. к. определяется из математич. выражения осн. закона электромагнитной индукции:

$$E_1 = 4kw_1 f/\Phi_{макс} \cdot 10^{-8}\ в;\quad E_2 = 4kw_2 f/\Phi_{макс} \cdot 10^{-8}\ в,$$

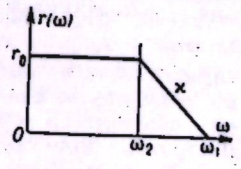
где E_1 и E_2 — эдс электромагнитной индукции соответственно первичной и вторичной обмотки; k — коэфф. формы кривой напряжения (для синусоиды $k = 1{,}11$); f — частота источника переменного напряжения; w_1 и w_2 — число витков соответственно первичной и вторичной обмотки; $\Phi_{макс}$ — амплитудное значение магнитного потока. Из приведенных выражений видно, что эдс, индуктируемые в обмотках, прямо пропорциональны числам витков этих обмоток: $E_1/E_2 = w_1/w_2 = \eta$.

И. М. Уманский.

ТРАПЕЦЕИДАЛЬНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА (trapezoidal characteristic; caractéristiques trapezöidale; trapezförmige Charakteristik) — ф-ция $r(\omega)$, определяемая по ф-лам:

$$r(\omega) = r_0,\quad 0 < \omega < \omega_2,$$
$$r(\omega) = r_0(\omega_1 - \omega)/(\omega_1 - \omega_2),\quad \omega_2 < \omega < \omega_1,$$
$$r(\omega) = 0,\quad \omega_1 < \omega$$

и имеющая вид трапеции (рис.). Основные параметры Т. х.: r_0 — высота; ω_1 — интервал пропускания частот; ω_2 — интервал равномерного пропускания частот; $\varkappa = \omega_2/\omega_1$ — коэфф. наклона.



Т. х. с параметрами $r_0 = 1$ и $\omega_1 = 1$ наз. типовой (единичной) хар-кой. Единичным Т. х. соответствуют переходные ф-ции

$$h_\varkappa(t) = \frac{2}{\pi}\left\{\mathrm{Si}(\varkappa t) + \frac{1}{1-\varkappa}\left[\mathrm{Si}(t) - \mathrm{Si}(\varkappa t) + \frac{\cos t - \cos \varkappa t}{t}\right]\right\},$$

зависящие только от параметра $\varkappa$. Составлены таблицы, по к-рым путем пересчета масштабов можно приближенно определить переходную ф-цию, соответствующую Т. х. с любыми значениями параметров r_0, ω_1 и $\varkappa$, и построить кривую, характеризующую переходный процесс (см. *Трапецеидальных частотных характеристик метод*).

Е. С. Кочетков.

ТРАПЕЦЕИДАЛЬНЫХ ЧАСТОТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК МЕТОД [method of trapezoidal frequency responses; méthode des caractéristiques fréquentielles trapezoïdales

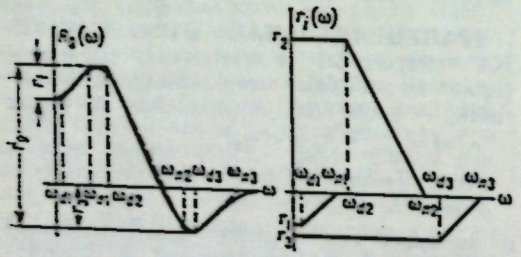
(méthode des tangentes et des asymptotes des caractéristiques fréquentielles); Methode der trapezförmigen Frequenzkennlinien] — метод приближ. построения кривой переходного процесса $x(t)$ по заданной $R_0(\omega)$, в случае, когда $x(s) = L\{x(t)\}$ имеет один полюс в начале координат: $x(s) = x_0(s)/s$ и $x_0(j\omega) = R_0(\omega) + jS_0(\omega)$[$x_0(s)$ должно иметь все полюса в левой полуплоскости]. Этот метод удобен, когда анализ устойчивости системы проводится *Найквиста критерием*. Применим для систем с запаздыванием, а также и в том случае, если ур-ния движения отд. звеньев системы неизвестны, а имеются экспериментально снятые их частотные хар-ки. Метод основан на след. выражении для переходного процесса:

$$x(t) = \frac{2}{\pi}\int_0^\infty \frac{R_0(\omega)}{\omega}\sin\omega t\, d\omega, \quad t>0,$$

к-рое справедливо для вычисления $x(t)$, стремящихся (при $t\to\infty$) к пост. величине, т. е. $x(\infty) = \text{const}$ [в частности, $x(\infty) = 0$]. При построении *переходной функции* $h(t)$ указанное выше выражение будет иметь вид:

$$h(t) = \frac{2}{\pi}\int_0^\infty \frac{P(\omega)}{\omega}\sin\omega t\, d\omega, \quad t>0,$$

где $P(\omega)$ — *частотная характеристика вещественная* системы в замкнутом состоянии. $P(\omega)$ определяется по частотной хар-ке системы в разомкнутом состоянии $KW(j\omega)$ с помощью соответствующих *круговых диаграмм*, в зависимости от того, для какой координаты (ошибка, регулируемая координата) и в каком режиме (слежение, стабилизация) необходимо построить кривую переходного процесса.



Разложение вещественной частотной хар-ки $R_3(\omega)$ на трапецеидальные частотные хар-ки $r_i(\omega)$.

В Т.ч.х. м. $R_3(\omega)$ аппроксимируют ломаной линией и представляют в виде суммы конечного числа *трапецеидальных характеристик* (рис.):

$$R_3(\omega) = \sum_{i=1}^{n} r_i(\omega).$$

При этом $R_3(\omega)$ аппроксимируют так, чтобы при $\omega = 0$ ломаная кривая обязательно проходила через точку $R_3(0)$, т. к. $\lim_{t\to\infty} x(t) = R_3(0)$. Тогда

$$x(t) \approx \sum_{i=1}^{n}\frac{2}{\pi}\int_0^\infty \frac{r_i(\omega)}{\omega}\sin\omega t\, d\omega = \sum_{i=1}^{n} x_i(t), \quad t>0.$$

Вычисление каждого интеграла можно вести по ф-ле:

$$x_i(t) = \frac{2r_{ci}}{\pi}\left\{\mathrm{Si}(\omega_{di}t) + \frac{\omega_{ni}}{\omega_{ni}-\omega_{di}}[\mathrm{Si}(\omega_{ni}t) - \mathrm{Si}(\omega_{di}t)] + \frac{1}{\omega_{ni}-\omega_{di}}\left(\frac{\cos\omega_{ni}t - \cos\omega_{di}t}{t}\right)\right\},$$

где $\mathrm{Si}(\omega_k t) = \int_0^{\omega_k}\frac{\sin\omega t}{\omega}d\omega$ — интегр. синус.

Для упрощения расчетов с помощью изменения масштаба по осям ординат и абсцисс переходят от $r_i\omega$ к единичным трапецеидальным хар-кам $r_{0i}(\omega)$, у к-рых $r_i = 1$, $\omega_{ni} = 1$ и $\varkappa = \omega_{di}/\omega_{ni} = \omega_{di}$. Переходный процесс для $r_{0i}(\omega)$, выражаемый ф-лой:

$$h_\varkappa(t) = \frac{2}{\pi}\left\{\mathrm{Si}(\varkappa t) + \frac{1}{1-\varkappa}[\mathrm{Si}(t) - \mathrm{Si}(\varkappa t)] + \frac{1}{1-\varkappa}\frac{\cos t - \cos\varkappa t}{t}\right\},$$

зависит только от коэфф. наклона $\varkappa$ и может быть табулирован {таблицы $h_\varkappa(t)$ приведены, напр., в [1]}. Следовательно, для построения $x(t)$ надо разбить $R_0(\omega)$ на $r_i(\omega)$, путем изменения масштаба по оси ординат и оси абсцисс перейти к $r_{0i}(\omega)$ и по таблицам найти $h_{xi}(t)$. После этого путем обратного изменения масштаба по оси ординат и оси абсцисс по $h_{xi}(t)$ надо найти $x_i(t)$. Для этого все ординаты $h_{xi}(t)$ надо увеличить в r_i раз. Табличное значение времени для каждой $h_{xi}(t)$ на основании теоремы подобия:

$$x(t/n) = \frac{2}{\pi}\int_0^\infty \frac{R(n\omega)}{\omega}\sin\omega t\, d\omega,$$

надо разделить на ω_{ni}. Производя алгебраич. сложение ординат кривых $x_i(t)$, соответствующих $h_{xi}(t)$, получаем $x(t)$.

Для вычисления $x(t)$ иногда удобно $R_0(\omega)$ разлагать на прямоугольники или на треугольники.

Аналогично можно вычислять *импульсную переходную функцию*

$$k(t) = \frac{2}{\pi}\int_0^\infty P(\omega)\cos\omega t\, d\omega, \quad t>0,$$

по выражению

$$k(t) = \frac{2}{\pi}\sum_{i=1}^{n}(r_{ci}\omega_{di})\left(\frac{\sin\omega_i t}{\omega_i t}\right)\left(\frac{\sin\Delta_i t}{\Delta_i t}\right),$$

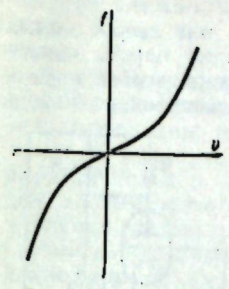
где

$$\omega_i = \omega_{di} + \frac{\omega_{ni}-\omega_{di}}{2}, \quad \Delta_i = \frac{\omega_{ni}-\omega_{di}}{2}.$$

Лит.: 1) Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; 2) Попов Е. П., Динамика систем автоматического регулирования, М., 1954.

В. Ю. Рутковский.

ТРЕНИЕ в регулировании (friction; frottement; Reibung) — сила, возникающая в регулируемой системе при относит. перемещении ее мех. частей. Любая САР включает в себя объект регулирования, чувствит. элемент, усилит. и исполнит. устройства. Наличие Т. в этих элементах часто оказывается весьма нежелательным, т. к. снижает точность и может приводить к возникновению автоколебаний, нарушающих нормальную работу системы. Различают «жидкое» и «сухое» Т. Первое возникает при движении тела в газе или жидкости, второе при трении о твердую поверхность. Жидкое или вязкое Т. существенно зависит от скорости v (рис.). С уменьшением скорости сила трения f может стать как угодно малой. Кроме того, сила трения всегда направлена противоположно скорости и, следовательно, меняет знак на обратный в точке, где скорость равна нулю. Очевидно, что в случае жидкого Т. для небольших скоростей силу трения можно считать линейной ф-цией скорости. Сухое Т. обычно мало зависит от скорости.



Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959.

В. П. Гришин.

ТРЕХАДРЕСНАЯ МАШИНА (three-address computer; machine à trois adresses; Dreiadressenmaschine) — ЦВМ, команды к-рой содержат три адреса. Могут быть машины, в к-рых два адреса обеспечивают выборку операндов, а третий — запись результата операции, и машины, в к-рых один адрес относится к операнду, второй — к результату операции, а третий — указывает местоположение следующей команды.

В ЦВМ первого типа команды отвечают естеств. логике процесса выполнения одиночной операции, требующей двух операндов и выдающей один результат. Если результат одной операции является операндом следующей, то трехадресные команды допускают холостые обращения к ЗУ (запись результата предыдущей операции и его же выборку следующей командой), что снижает производительность машины (напр., вычислит. машин М-20, БЭСМ-2, НОРК). В ЦВМ 2-го типа первые два адреса целесообразно наделять перем. ф-циями в зависимости от характера и сочетания операций. Возможны след. сочетания: а) 1-й и 2-й адреса относятся к операндам (результат в оперативное ЗУ не отсылается, а хранится в регистре АУ); б) 1-й адрес относится к операнду, а 2-й — к результату операции; в) 1-й и 2-й адреса относятся к операндам, а результат операции отсылается либо по 2-му, либо по 1-му адресу. Характер сочетания может задаваться спец. признаками в команде или кодом операции. Такая система позволяет уменьшить холостые обращения к оперативному ЗУ и повысить производительность машины. Третий адрес в Т. м. 2-го типа, как правило, указывает местоположение след. команды. Подобные машины удобны при циклич. оперативных ЗУ (на магнитных барабанах). Они позволяют составлять оптимальные программы с миним. временем ожидания для каждого обращения к ОЗУ. Т. м. бывают с одинаковой или различной длиной адресов. В первом случае все адреса команды обеспечивают обращение к любой ячейке ЗУ, что удобно для программирования. Однако при значит. объемах ЗУ, особенно при обработке полей перем. длины, адреса оказываются весьма большими и такие команды становятся громоздкими. Во втором случае имеется один или два адреса полной длины, а остальные адреса — неполноразрядные, т. е. могут обеспечивать доступ к огранич. участкам ЗУ. Переключение коротких адресов с одного участка ЗУ на другой производится спец. командами, задающими адрес нач. ячейки очередной группы. Этот адрес хранится на спец. регистре в течение всего периода связи короткого адреса с данной группой информации. Исполнит. адрес формируется объединением этого пост. адреса с короткими адресами текущих команд. При этом неск. усложняется составление программ и размещение информации, но значительно сокращается длина адресной части команды с сохранением основных положит. сторон трехадресной структуры.

Особое место занимает Т. м. с трансформируемой структурой команд. В этом случае предусматривается либо перераспределение неполных адресов по функцион. шкале адресной части при неизменном общем количестве адресов, либо переход от трехадресной структуры к двух- или одноадресной. Тип структуры команды определяется спец. признаками в текущей команде. Наиболее удобны два варианта трансформируемых структур команд: 1) в исходном состоянии команда содержит один полноразрядный и два коротких адреса половинной длины. В случае необходимости короткие адреса связываются в один полноразрядный; 2) исходная структура предусматривает три коротких адреса, обеспечивающих в общем случае доступ к трем огранич. участкам ЗУ. В случае необходимости короткие адреса группируются в требуемых сочетаниях, давая либо одноадресную структуру (все три коротких адреса объединяются в один полный), либо двухадресную с одним исходным и одним, сформированным из двух коротких. Это достаточно удобная и гибкая система, сочетающая достоинства различных способов построения адресной части команд.

И. А. Данильченко.

ТРИГГЕР (trigger; basculeur; Trigger) — спусковая схема, содержащая два активных элемента (две лампы или два транзистора) с положит. обратной связью, напряжения и токи в к-рой приобретают способность к скачкам (см. *Спусковая схема*). В зависимости от частотных хар-к петли обратной связи Т. делятся на два осн. подкласса:

1) с широкополосной обратной связью, сохраняющие устойчивость в двух возможных состояниях при скачкообразных переходах из одного в другое по командам внешних «запускающих» сигналов (применяются в автоматике и импульсной технике под названиями реостатный Т., курковая схема, схема да — нет, полупериодный мультивибратор, электронное реле), и

2) с реактивной (чаще емкостной) обратной связью, переходящие под воздействием запускающих сигналов в неустойчивое, второе состояние, из к-рого самостоятельно возвращаются в исходное состояние с задержкой, определяемой параметрами схемы (применяются в радиоэлектронике под названиями реактивный Т., кипп-реле, ждущий мультивибратор, заторможенный мультивибратор, однополупериодный мультивибратор).

Ю. В. Хомич.

ТРИММЕР радиотехнический [trimmer; condensateur de correction (trimmer); Trimmer] — переменный конденсатор малой емкости, применяемый для подстройки резонансного контура. В отличие от перем. конденсаторов, Т. часто именуют полуперем. конденсатором, т. к. емкость Т. изменяют только

в процессе настройки при изготовлении аппаратуры, после чего положение подвижных элементов Т. фиксируется и при эксплуатации не меняется.

Т. состоит из двух расположенных друг над другом керамич. или пластмассовых дисков, из к-рых нижний служит основанием конструкции и одновременно неподвижной пластиной конденсатора (статором), а другой, более тонкий, подвижной,— ротором. Часть рабочей поверхности каждого диска (обычно половина) покрыта металлом и является обкладкой конденсатора. Через центр дисков проходит ось, с к-рой соединена пластинчатая пружина, обеспечивающая плотное прилегание дисков при вращении ротора относительно статора и фиксацию (за счет трения) их друг относительно друга. При вращении ротора взаимное перекрытие обкладок изменяется. Когда обкладки располагаются одна над другой, емкость Т. максимальна и наоборот.

Существуют Т., изготовленные в виде двух или неск. взаимно перемещающихся концентрически располож. керамич. цилиндров, металлич. пластин с воздушным зазором, керамич. металлизированной трубки и стержня и т. п. На Т. обычно указывается миним. и макс. значение его емкости, к-рое может составлять от 3—15 *мкмкф* до 30—150 *мкмкф*. В зависимости от емкости размеры дисковых Т. имеют диаметр 0,5—3 *см* при толщине 3—8 *мм*.

И. А. Минасян

ТРИОД (triode; triode; Triode)—трехэлектродная электронная лампа, имеющая катод, анод и управляющий электрод (сетку). Т. используются в радиотехнич. схемах для предварит. усиления напряжения НЧ, усиления мощности, генерирования колебаний синусоидальной и спец. формы, преобразования формы колебаний, генерирования колебаний СВЧ, генерирования импульсных колебаний или управления работой импульсных генераторов.

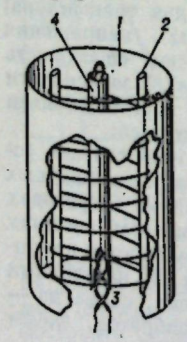


Рис. 1. Устройство триода: *1* — анод; *2* — сетка; *3* — катод прямого накала или подогреватель; *4*—подогревный катод.

В Т. обычной конструкции внутри цилиндрич. анода помещена сетка спиральной формы (рис. 1). По общей оси концентрич. анода и сетки расположен накаливаемый катод непосредственного или косв. подогрева. При работе Т. между анодом (имеющим положит. потенциал) и катодом и между сеткой (имеющей обычно небольшой отрицат. потенциал относительно катода) и катодом создается электрич. поле. В непосредственной близости от катода образуется пространств. заряд (облако электронов, вылетевших из катода), к-рый препятствует движению электронов с катода на анод. Величина тока через лампу определяется действием результирующего электрич. поля, к-рое у катода является суперпозицией замедляющего поля, вызываемого пространств. зарядом, и поля, создаваемого электродами. Величина и форма результирующего поля зависят как от величины потенциалов анода и управляющей сетки, так и от конструкции электродов, напр. от густоты сетки. Осн. электрич. параметры Т.: крутизна сеточной хар-ки анодного тока S, коэфф. усиления μ, внутр. сопротивление R_i, проницаемость D (см. *Статические характеристики и параметры электронных ламп*).

При работе Т. в усилит. или генераторных схемах действующее на сетке перем. напряжение, изменяя анодный ток, вызывает изменение потенциала анода относительно катода вследствие того, что в анодную цепь Т. включается сопротивление нагрузки, на к-ром изменяющийся анодный ток создает перем. напряжение (рис. 2). Такие условия работы Т. наз. динамич. режимом (в отличие от статич. режима, в к-ром изменяется только одно напряжение). В этом случае работа Т. характеризуется динамич. параметрами: крутизной динамич. хар-ки $S_g = S\frac{1}{1+R/R_i}$, где R — нагрузочное сопротивление в цепи анода динамич. коэфф. усиления (показывающим, во сколько раз перем. напряжение U_R, снимаемое с нагрузочного сопротивления R, больше перем. напряжения U_c, подводимого к сетке Т.) $k = \mu\frac{1}{1+R_i/R}$.

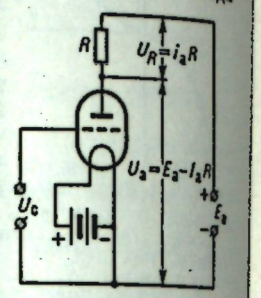


Рис. 2. Схема включения триода с нагрузочным сопротивлением i_a, U_a — ток и напряжение анода; U_c — напряжение сетки; E_a — напряжение анодной батареи.

Эффективность работы Т. на ВЧ и СВЧ зависит также от междуэлектродных емкостей (между сеткой и катодом — входная емкость $C_{вх}$, между анодом и сеткой—проходная емкость $C_{пр}$, между анодом и катодом — выходная емкость $C_{вых}$), значения к-рых определяются размерами электродов, расстояниями между ними и особенностями конструкции. Кроме того, в связи с тем, что на ВЧ и СВЧ сильно возрастают диэлектрич. потери, проявляется инерция электронов и сказывается индуктивность электродных вводов, работоспособность Т. в этих условиях определяется входным сопротивлением.

Количеств. значения параметров и конструкции Т. очень разнообразны и определяются гл. обр. их назначением. Приемно-усилит. Т. для усиления напряжения при токе накала от неск. десятков до сотен *ма*, токе анода в неск. *ма*, при напряжении на аноде 100—300 *в* имеют крутизну хар-ки от 1 до 4—5 *ма/в* и коэфф. усиления до 100; междуэлектродные емкости составляют неск. *пф*. Приемно-усилит. Т. для усиления мощности имеют более мощный катод, рассчитанный на получение большого тока (до 150 *ма*), и более массивный анод, способный рассеивать мощности до 15 *вт*; крутизна хар-ки этих ламп 6—10 *ма/в*, коэфф. усиления от 4 до 10. Такого типа Т. изготовляются в виде обычных, миниатюрных или сверхминиатюрных электронных ламп. Широкое распространение получили также сдвоенные конструкции Т. — усилители напряжения и усилители мощности, выполняемые в одном баллоне. Для уменьшения габаритов и стоимости аппаратуры применяют комбинированные лампы в одном баллоне (двойной диод — триод, тройной диод — триод, триод — пентод и др.). Кроме того, изготовляются Т. с дополнит. электродом — катодной сеткой, с помощью к-рой достигается бо́льшая крутизна характеристики анодного тока (до 15—20 *ма/в*). Такой Т. может быть использован как лампа с двойным управлением.

Для работы на СВЧ выбираются конструкции Т., позволяющие уменьшить время пролета электронов от катода до управляющей сетки и анода, междуэлектродные емкости, индуктивности и взаимоиндуктивности вводов; в качестве изолирующих материалов применяются диэлектрики с малыми потерями. С этой целью лампы, работающие на волнах длиной до 60 *см*, делаются безцокольными и применяются, как правило, короткие прямолинейные стержневые вводы, проходящие сквозь плоскую ножку лампы и расположенные на донышке по окружности на возможно бо́льших расстояниях друг от друга. Для уменьшения индуктивностей вводов делаются многократные выводы (катода или сетки). Крутизна хар-ки для таких Т. лежит в пределах от 1 до 45 *ма/в*, коэфф. усиления — от 15 до 90.

Т., работающие на более коротких волнах (8 *см* и короче), имеют плоско-параллельную конструкцию электродов с дисковыми выводами (см. *Лампа маячковая*, *Лампа приемно-усилительная*).

Мощные генераторные Т., рассчитанные на очень высокие анодные напряжения (до 10—12 *кв*), отличаются рядом конструктивных особенностей (см. *Генераторная лампа*). Полезная колебат. мощность этих ламп достигает 500 *квт*.

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960; Гапонов В. И., Электроника, ч. 2, М., 1960; Бонч-Бруевич А. М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, 4 изд., М., 1956; Санин А. А., Электронные приборы ядерной физики, М., 1961.

И. Н. Посысаев.

ТРОИЧНАЯ СИСТЕМА СЧИСЛЕНИЯ (ternary number system; système de calcul ternaire; Dreierrechensystem) — позиционная система счисления, основанием которой служит число три. Возможны три варианта Т. с. с.

а) Т. с. с. с неотрицательной базой. В ней используют три различные цифры: 0, 1 и 2, служащие для обозначения соответственно чисел «нуль», «один» и «два». Число «три» (основание системы счисления) записывается как 10. При записи отрицат. чисел применяется знак «—» (минус). Последоват. целые числа от нуля до десяти записываются в Т. с. с. с неотрицат. базой как 0, 1, 2, 10, 11, 12, 20, 21, 22, 100, 101, а дроби со знаменателями, являющимися целыми степенями трех, как 0,1 ($^1/_3$); 0,2 ($^2/_3$); 0, 01 ($^1/_9$); 0,02 ($^2/_9$); 0,11 ($^4/_9$); 0,12 ($^5/_9$); 0,21 ($^7/_9$); 0,22 ($^8/_9$). Всякое троичное число можно перевести в *десятичную систему счисления* («расшифровать»), записывая его в виде:

$$a_{n-1}3^{n-1}+a_{n-2}3^{n-2}+\ldots+a_1 3^1+a_0 3^0+ +a_{-1}3^{-1}+\ldots+a_{-m}3^{-m}, \quad (1)$$

где a_i — троичные цифры, n — количество разрядов целой части, а m — количество разрядов дробной части троичного числа. Напр., 201,21 (троичное) $= 2\cdot3^2+0\cdot3^1+1\cdot3^0+2\cdot3^{-1}+ +1\cdot3^{-2} = 19{,}7777\ldots$ (десятичное). Таблицы осн. арифметич. действий в Т. с. с. с неотрицат. базой имеют следующий вид:

Таблица сложения

+	0	1	2
0	0	1	2
1	1	2	10
2	2	10	11

Таблица вычитания

−	0	1	2
0	0		
1	1	0	
2	2	1	0
10		2	1
11			2

Таблица умножения

×	0	1	2
0	0	0	0
1	0	1	2
2	0	2	11

Арифметич. действия над числами, представленными в Т. с. с. с неотрицат. базой, выполняются по правилам, к-рые аналогичны правилам, разработанным для десятичной системы счисления.

б) Т. с. с. с симметричной базой. В ней используются три различные цифры: $\bar{1}$, 0 и 1, обозначающие соответственно числа «минус один», «нуль» и «один». Число «три» в этой Т. с. с. также представляется в виде 10. Последоват. целые числа от нуля до десяти в Т. с. с. с симметричной базой имеют вид: 0,1, 1$\bar{1}$, 10, 11, 11$\bar{1}$, 1$\bar{1}$0, 1$\bar{1}$1, 10$\bar{1}$, 100, 101. Правильные дроби со знаменателями, являющимися целыми степенями числа три, записываются в виде: 0,1 ($^1/_3$); 1,$\bar{1}$ ($^2/_3$); 0,01 ($^1/_9$); 0,1$\bar{1}$ ($^2/_9$); 0,11 ($^4/_9$); 01,$\bar{1}\bar{1}$ ($^5/_9$); 1,1$\bar{1}$ ($^7/_9$); 1,0$\bar{1}$ ($^8/_9$). Как видно из примеров, нек-рые правильные дроби в Т. с. с. с симметричной базой имеют неравную нулю целую часть. Число, записанное в Т. с. с. с симметричной базой, можно «расшифровать» с помощью ф-лы (1), в к-рой a_i — десятичные числа, равные значениям троичных цифр в этой Т. с. с. Напр., $1\bar{1}01{,}1\bar{1} = 1\cdot3^3+(-1)\cdot3^2+ +0\cdot3^1+(-1)\cdot3^0+(-1)\cdot3^{-1}+1\cdot3^{-2}=16{,}7777\ldots$

Для записи отрицат. чисел знак минус не нужен. Всякое отрицат. число в качестве старшей цифры имеет $\bar{1}$, а всякое положительное 1. Цифры 1 и $\bar{1}$ наз. симметричными между собой. Цифра 0 считается симметричной самой себе. Чтобы изменить знак числа на противоположный, нужно цифры, его составляющие, заменить цифрами, им симметричными. Эта особенность Т. с. с. с симметричной базой позволяет вычитание чисел производить по правилам их сложения (вместо вычитания числа производят сложение с числом, противоположным по знаку). При этом отпадает необходимость в таблице вычитания. Известное из алгебры правило знаков позволяет упростить таблицу умножения и операцию, с помощью к-рой выполняется это действие.

Таблица сложения

+	$\bar{1}$	0	1
$\bar{1}$	$\bar{1}\bar{1}$	$\bar{1}$	0
0	1	0	1
1	0	1	1$\bar{1}$

Таблица умножения

×	0	1
0	0	0
1	0	1

Арифметич. действия (кроме деления) выполняются над троичными числами с помощью таблиц по правилам, к-рые аналогичны правилам для сложения и умножения десятичных чисел.

Примеры арифметич. действий над числами в Т. с. с. с симметричной базой:

Сложение: $+\begin{array}{r}10\bar{1}1{,}0\bar{1}\bar{1}\\ 1\,1010{,}1\bar{1}\bar{1}\\ \hline 1\bar{1}1001{,}001\end{array}$

Вычитание: $11010{,}1\bar{1}\bar{1}-10\bar{1}1{,}0\bar{1}\bar{1}=$
$=11010{,}1\bar{1}\bar{1}+\bar{1}01\bar{1}{,}01\bar{1}=101\bar{1}\bar{1}{,}1,$

так как $+\begin{array}{r}11010{,}1\bar{1}\bar{1}\\ \bar{1}01\bar{1}{,}011\\ \hline 101\bar{1}\bar{1}{,}100\end{array}$

Умножение: $\times\begin{array}{r}\bar{1}01{,}\bar{1}1\\ 10{,}0\bar{1}\\ \hline 10\bar{1}\ 1\bar{1}\\ \bar{1}01\bar{1}\ 1\ \ \\ \hline \bar{1}010{,}1\bar{1}1\bar{1}\end{array}$

Деление чисел в Т. с. с. с симметричной базой производится с нек-рым отличием от правила, принятого в десятичной системе счисления [1].

в) Т. с. с. с неположительной базой. В ней используются три различные цифры: 2, 1 и 0, обозначающие соответственно числа «минус два», «минус один» и «нуль». Для записи положит чисел в этой Т. с. с. приходится применять знак «—» (минус) Число «три» (основание системы счисления) при этом записывается в виде—10. Т. с. с. с неположит. базой практич. применения не нашла.

Т. с. с с симметричной базой применяется в нек-рых ЭВМ в качестве рабочей системы счисления (машина «Сетунь»). Простота выполнения арифметич. действий обусловливает при этом простоту конструкции АУ. Т. с. с. с неотрицат базой допускает легкий перевод чисел в Т. с. с. с симметричной базой (и обратный перевод), а также перевод по общим правилам чисел из десятичной системы счисления и обратный перевод (см. *Перевод чисел из одной системы счисления в другую*). Для нек-рых классов задач применение Т. с. с. с симметричной базой в качестве рабочей системы счисления позволяет упростить алгоритмы решения этих задач.

Лит.: 1) Криницкий Н. А., Миронов Г. А., Фролов Г. Д., Программирование, М., 1963. *Н. А. Криницкий.*

ТРОИЧНО-КОДИРОВАННАЯ ДЕВЯТИРИЧНАЯ СИСТЕМА СЧИСЛЕНИЯ (ternary-coded nonary number system; système de calcul nonaire codifié en ternaire; 9 aus 3-System) — система счисления, получающаяся из позиционной *девятиричной системы счисления* путем замены применяемых в ней цифр попарно-различными кодами, составленными из троичных цифр (см. *Троичная система счисления*) и поставленными во взаимно-однозначное соответствие этим девятиричным цифрам. При этом для кодирования девятиричной системы счисления с неотрицат. базой применяют цифры троичной системы счисления с неотрицат. базой, а в случае девятиричной системы с симметричной базой — цифры троичной системы счисления с симметричной базой. Для того чтобы запись числа в Т.-к. д. с. с. не допускала разночтения без применения дополнит. знаков раздела (пробел тоже нужно считать дополнит. знаком), в качестве троичных кодов берут троичные числа одинаковой разрядности. Пусть N — разрядность кодов, используемых для обозначения девятиричных цифр. Разность $d = 3^N - 9$ наз. избытком Т.-к. д. с. с. и равна количеству N-разрядных троичных кодов, не применяемых для обозначения девятиричных цифр. Очевидно, что при $N = 2$ получают избыток, равный нулю. Т. о., наиболее экономна Т.-к. д. с. с., в к-рой каждая девятиричная цифра обозначается парой троичных цифр. Чаще всего применяют Т.-к. д с. с., в к-рой каждая девятиричная цифра обозначается равным ей двухразрядным троичным числом.

Т.-к. д. с. с. используют как промежуточную систему счисления при вводе чисел и команд в машины, имеющие в качестве рабочей системы счисления троичную, при условии, что во время программирования применяется девятиричная система счисления (машина «Сетунь», СССР).

Лит.: Криницкий Н. А., Миронов Г. А., Фролов Г. Д., Программирование, М., 1963; Жоголев Е. А., Система команд и интерпретирующая система для машины «Сетунь», «ЖВМ и МФ», 1961, т. 1, № 3. *Н. А. Криницкий.*

ТРОПИКАЛИЗАЦИЯ АППАРАТУРЫ (tropicalization of apparatus; tropicalisation de l'appareillage; Tropenfestmachen einer Anlage)— совокупность мер, обеспечивающих надежность аппаратуры, предназначенной для работы в тропич. условиях. Вредное воздействие на аппаратуру в тропич. условиях оказывают гл. обр. высокие темп-ра и влажность. Тропич. темп-ра, превышая иногда 50° С, может вызывать размягчение материалов, их преждеврем. старение, разрушение; вследствие применения материалов с различным коэфф. расширения — разрыв сцеплений, заклинивание движущихся частей; резкие колебания темп-ры внешней среды вызывают недопустимые изменения электрич. хар-к электронных приборов. Снижение отрицат. воздействия тропич. темп-ры на работу аппаратуры обеспечивается мерами, содействующими повышению в ней теплопроводности (применение спаянных или сварных соединений вместо резьбовых или прижимных, использование плетеных шнуров вместо лент, материалов с высокой теплопроводностью, заполнение герметизированных объемов маслом и т. п.), лучеиспускания (комбинированное использование материалов с высокой и низкой излучающей и поглощающей способностью) и конвекции (вентилирование, обеспечивающее обмен воздуха, исключающее образование зон застоя у охлаждаемых поверхностей). Влажность тропич. воздуха, достигая 90%, приводит к смачиванию изоляц. материалов, снижению их электрич. поверхностного (вследствие образования водяной пленки) и объемного (вследствие проникновения влаги в поры) сопротивления; резкие колебания темп-ры способствуют конденсации влаги внутри негерметизиров. объемов, к-рая может вызвать искровой разряд, нередко сопровождающийся разрушением материала. Снижение отрицат. воздействия тропич. влажности на работу аппаратуры достигается герметизацией или вентилированием ее объемов, применением материалов с малой гигроскопичностью. Высокая влажность в сочетании с высокой темп-рой вызывает появление плесени, в первую очередь на частях аппаратуры, изготовленных из органич. материала.

Для Т. а. рекомендуется: использовать только высококачеств. детали; негерметичные элементы обрабатывать так, чтобы они были полностью влагонепроницаемы; схемные элементы электронной аппаратуры использовать в облегченных электрич. режимах для снижения влияния высокой темп-ры окружающей среды; не применять в аппаратуре ткань, холст, веревку, т. к. они влагопроницаемы, подвержены гниению и плесневению; в механич. креплениях схем не допускать зазоров и щелей, являющихся конденсаторами влаги; шасси аппаратуры покрывать влагонепроницаемым лаком, поверх к-рого наносить спец. слой покрытия против плесени; кабели перед монтажом погружать в лак для предупреждения развития плесени; металлич. поверхности обрабатывать для предохранения их от коррозии, особенно контактные пары, в к-рых возникновение коррозии совершенно недопустимо; деревянные части обрабатывать для предохранения от гниения и от образования на них плесени; запасные части упаковывать во влагонепроницаемые контейнеры; перед упаковкой металлич. запасные части покрывать антикоррозийным составом или спец. смолой, к-рые могут быть удалены с них перед началом работы; во внутр. объемах аппаратуры размещать осушители, способные поддерживать величину относит. влажности не выше 50%.

Лит.: Астафьев А. В., Окружающая среда и надежность радиотехнической аппаратуры, М.—Л., 1959. *Е. Ю. Намиот.*

ТРОХОТРОН [trochotron; trochotron; Trochotron (Magnetfeldröhre für Zählschaltungen)] — электроннолучевой переключатель, использующий движение электронов по трохоидам в скрещенных электрическом и магнитном полях.

Т. упрощают импульсные электронные схемы (ламповые и ПП), где они применяются для: счета электрич. импульсов (со скоростью счета до 10^7 импульсов в сек.); деления частоты (до 8 *Мгц*); дешифрации параллельных двоичных кодов; суммирования; определения совпадений и антисовпадений импульсов и т. п. Они могут работать и как *распределители электроннолучевые*. Т., как правило, надежно работают в широкой области изменения рабочих напряжений со значит. быстродействием.

Использование легко управляемого лентообразного луча позволяет получать значит. токи в приборе (20 *ма*) при сравнительно небольших напряжениях питания (до 300 *в*). Нек-рые типы Т., имея рабочее напряжение 20—30 *в*, могут работать в схемах с ПП приборами.

Принцип переключения и блокировки электронного пучка в Т. можно уяснить, рассматривая работу простейшей ячейки с трохоидальным лучом (рис. 1).

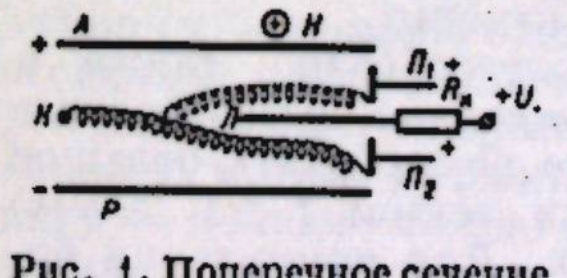


Рис. 1. Поперечное сечение элементарной ячейки трохотрона.

Между плоскими электродами—анодом A, имеющим положит. потенциал, и т. н. «рельсом» P, имеющим отрицат. потенциал, расположен цилиндрич. катод K (потенциалы измеряются относительно катода). Переключающий электрод—лопатка $Л$ делит правую часть ячейки на 2 камеры: верхнюю с выходным электродом—пластиной $П_1$—и нижнюю с пластиной $П_2$. Вся ячейка помещена в пост. однородное магнитное поле, направленное перпендикулярно плоскости чертежа. Эмиттируемые катодом электроны в скрещенных электрич. и магнитном (H) полях будут формироваться в трохоидальный электронный пучок, идущий перпендикулярно

обоим полям, в основном вдоль эквипотенциальной поверхности электрич. поля, близкой к потенциалу катода. Положение этой направляющей эквипотенциали, вдоль к-рой движется электронный пучок, можно в правой части ячейки изменять, регулируя потенциал переключающего электрода — лопатки, и тем самым направлять пучок в верхнюю или нижнюю камеру, соответственно, на пластину $П_1$ или $П_2$. На рис. 2 показаны зависимости токов на пластины ($I_{п_1}$, $I_{п_2}$) и на лопатку ($I_л$) от потенциала лопатки $U_л$.

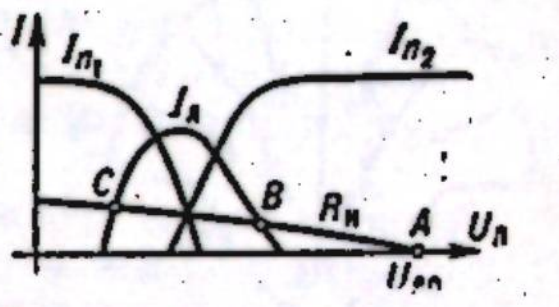


Рис. 2. Зависимость токов в ячейке трохотрона от потенциала лопатки.

При больших положит. потенциалах лопатки ток равен нулю: пучок проходит под лопаткой и весь попадает на положит. электрод — пластину $П_2$ (эквипотенциали, включая направляющую, сходятся в узком пространстве между пластиной и рельсом, а электроны в основном идут на ближайший электрод с положит. потенциалом). При потенциале лопатки, приближающемся к потенциалу катода, ток пучка начинает попадать на лопатку, и достигает максим. величины при потенциале, к-рый можно считать за потенциал пучка (потенциал направляющей эквипотенциали, вдоль к-рой следует пучок). При потенциале лопатки, равном или меньшем потенциалу катода, ток на лопатку отсутствует: пучок полностью проходит под лопаткой и попадает весь на пластину $П_1$. Если лопатку через нагрузочное сопротивление $R_н$ подключить к положит. потенциалу $U_{ло}$, то ячейка будет иметь 2 устойчивых (точки A и C) и одно неустойчивое (точка B) состояния. Другими словами, при этом включении без изменения напряжения питания лопатки $U_{ло}$ пучок в ячейке может устойчиво находиться либо в нижней камере (точка A), либо в верхней (точка C).

Различные типы Т. создают путем соответствующих комбинаций при конструировании

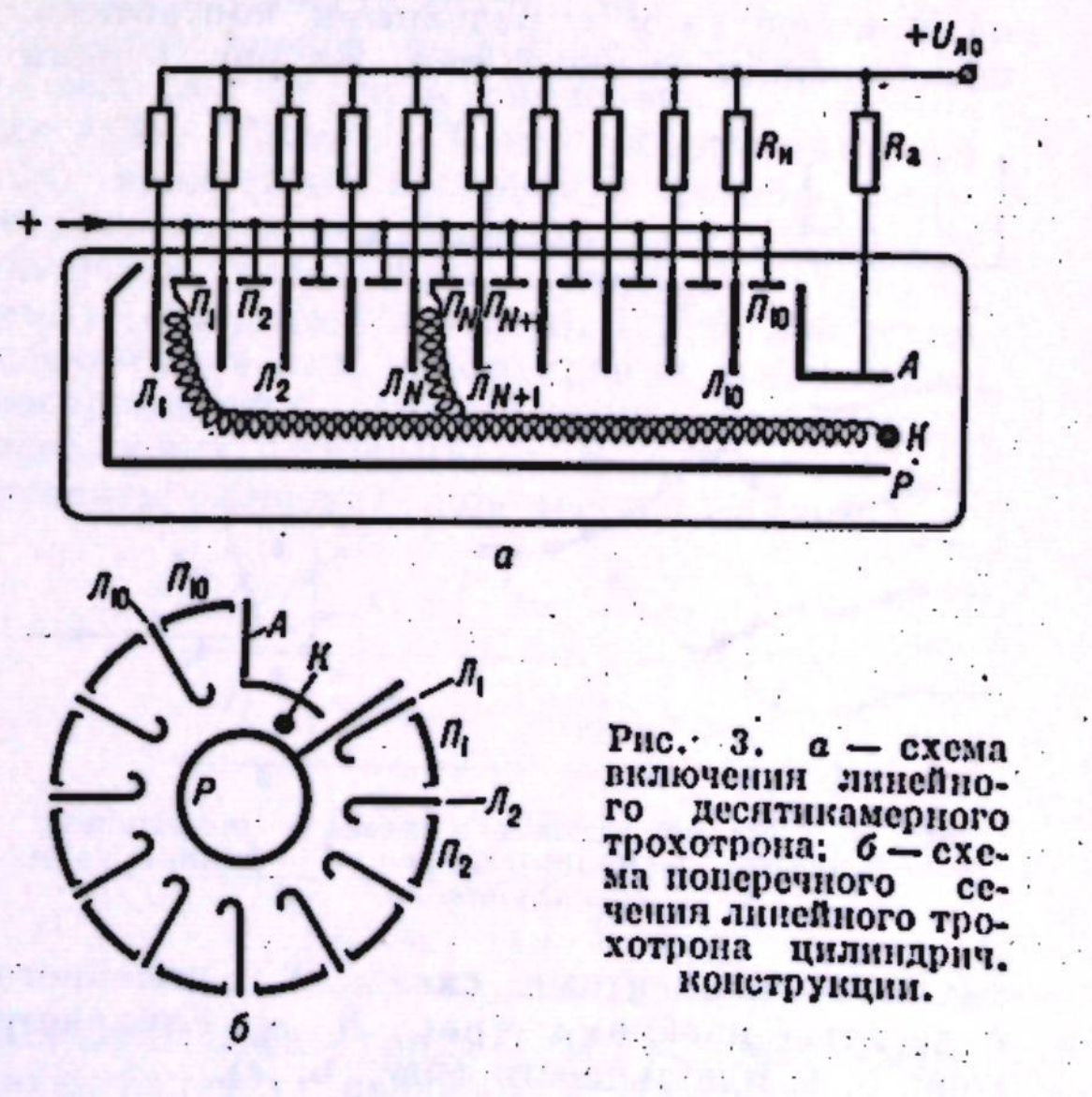
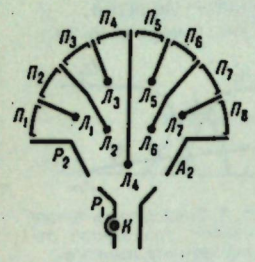


Рис. 3. *а* — схема включения линейного десятикамерного трохотрона; *б* — схема поперечного сечения линейного трохотрона цилиндрич. конструкции.

прибора как самих элементарных ячеек, так и электродов, образующих элементарную ячейку. Основные типы Т.: линейный десяти-

камерный (рис. 3), бинарный (рис. 4), кольцевой (рис. 5), двумерный и др.

Основные электрич. параметры десятикамерного линейного Т. типа ЛП-4: напряжение накала 4 *в*; напряжение анода 150 *в*;



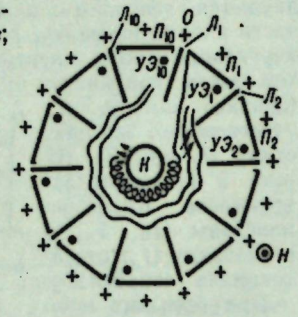


Рис. 4. Рис. 5.

Рис. 4. Схема поперечного сечения бинарного трохотрона.

Рис. 5. Схема кольцевого трохотрона: *УЭ* — управляющие электроды; *Н* — магнитное поле.

напряжение рельса минус 70 *в*; напряжение лопаток и пластин 85 *в*; напряженность магнитного поля 320 *э*; ток катода 2 *ма* (устанавливается регулировкой анодного напряжения); ток каждой пластины не менее 1 *ма*.

Рабочий режим бинарного Т. типа ЛП-5: напряжение 1-го анода не более 100 *в*; напряжение 2-го анода 80—110 *в*; напряжение 1-го рельса 0 *в*; напряжение 2-го рельса минус 40 *в*; напряжение лопаток и пластин 80—110 *в*; ток катода 3 *ма* (устанавливается регулировкой напряжения 1-го анода); напряженность магнитного поля 320 *э*.

Основные параметры кольцевого Т.: напряжение питания 250±25 *в*; напряжение на управляющих электродах не менее 150 *в*; ток в цепи каждой группы управляющих электродов в типовом режиме не более 2 *ма*; ток в цепи каждой пластины в типовом режиме не менее 8 *ма*; частота пересчета в режиме непрерывного действия 6—8 *Мгц*; разрешающая способность в парных импульсах 40—60 *нсек*, вес с магнитом ≃ 600 *г*.

Переключающие ф-ции Т. можно пояснить на примере схем с релейными контактами, выполняющих те же ф-ции. На рис. 6 даны

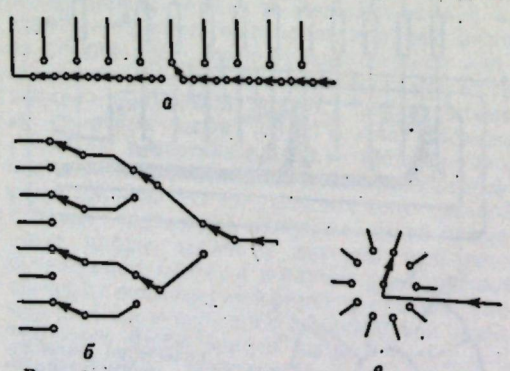


Рис. 6. Эквивалентные схемы трохотронов: *а*—линейного десятикамерного, *б* — бинарного и *в*—кольцевого.

такие эквивалентные схемы Т.: линейного с десятью ячейками (рис. 6, *а*), бинарного (рис. 6, *б*) и кольцевого (рис. 6, *в*).

Линейные и кольцевые Т., применяемые в основном для схем счета и деления электрич. импульсов, служат основой простой и надежной пересчетной декады, дающей наглядный отсчет. Надежность декады на Т. (особенно кольцевом) выше, чем на электронных лампах, и выше, чем у декатронов. Декады на Т. обладают высоким быстродействием (на линейном Т. ЛП-4 скорость счета доходит до 10^5—10^6 *гц*, а на кольцевом до 10^6—10^7 *гц*). На рис. 3, *а* показано принципиальное включение линейного Т. в схему пересчетной декады. На рис. 7 приведена принципиальная схема пересчетной декады на кольцевом Т. Входные импульсы подаются на формирователь, напр. триггер. К выходу последнего непосредственно подключены 2 группы управляющих электродов. Потенциал на управляющих электродах изменяется от величины потенциала источника анодного питания до потенциала, остающегося на аноде лампы триггера, когда он открыт. При отсутствии переходных емкостей такое изменение потенциалов на управляющих электродах наблюдается и в случае статистически распределенных импульсов на входе формирователя. Перепады напряжения на выходе формирователя должны быть достаточны для переброса луча (обычно 80—100 *в*). Катод Т. находится под нек-рым по-

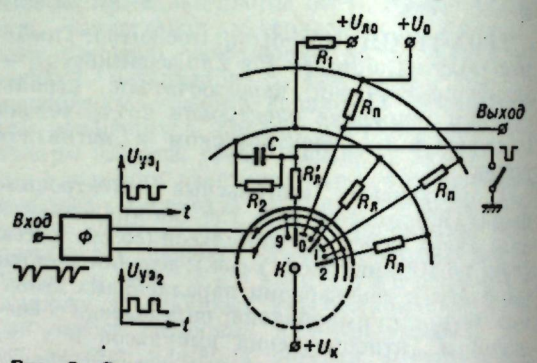


Рис. 7. Схема типовой пересчетной декады на кольцевом трохотроне: *Ф*— формирователь; $R_п$ — сопротивление пластины; $R_л$ — сопротивление лопатки.

ложит. потенциалом, чтобы во время низкого потенциала на одной из групп управляющих электродов этот потенциал относительно катода был ниже потенциала переброса луча $U_{пер}$ (практически $U_{пер}$ близок к потенциалу катода). Установка на нуль осуществляется нажатием кнопки (счет камер ведется от нуля до девяти). Выходной импульс на след. декаду или на электромеханич. счетчик снимается с пластины 0-й (10-й) камеры.

Применение Т. целесообразно также и в *коммутаторах электронных*, особенно где необходимо поочередно переключать большое количество цепей при малом (<1 *мксек*) времени переключения. Для коммутации более чем 10 выходов можно использовать схемы последоват. включения неск. Т. либо с дополнит. переходными активными элементами (могут использоваться все 10 камер каждого из Т.), либо без активных переходных элементов (в каждом кольцевом Т. можно использовать только 8—9 камер). На бинарных Т. можно успешно строить как схемы коммутаторов, так и схемы сумматоров и дешифраторов последовательностей импульсов. На линейном Т. довольно просто создать схему совпадений на большое число каналов (до 9), схему амплитудного анализа, схему фазово-импульсного модулятора и т. п. На кольцевом Т.

можно создать импульсные схемы для временно́го распределения импульсов, для деления частоты как с постоянным, так и с управляемым коэфф. деления, для измерения интервалов времени с разрешающей способностью <1 *мксек* и т. п.

Лит.: Ложников А. П., Харченко А. М., Импульсные устройства на трохотронах, М.—Л., 1963; их же, Применение кольцевых трохотронов, М., 1961; их же, «П», 1963, № 4; Alfvén H. [u. a.], «Kungl. Tekn. Högskolans Handlingar», 1948, № 22; Björkman J., Lindberg L., там же, 1954, № 80; Fan S. P., «J. Brit. Instn Radio Engrs», 1955, v. 15, № 7, p. 335.

А. М. Харченко.

ТЬЮРИНГА МАШИНА (Turing's machine; machine de Türing; Turing'sche Maschine) — абстрактное понятие вычислит. машины, введенное в 1936—37 англ. ученым А. М. Тьюрингом при анализе понятия эффективно вычислимой (т. е. вычислимой при помощи нек-рого *алгоритма*) ф-ции. Осн. идея Тьюринга состояла в том, что работа человека (вычислителя), следующего нек-рой системе определенных и точных предписаний (алгоритму), может быть в принципе осуществлена машиной, выполняющей эти же предписания. Работа Т. м. напоминает действия вычислителя, к-рый, не будучи в состоянии сразу обозреть всю, часто очень громоздкую, систему данных и предписаний, производит каждый раз лишь к.-л. «элементарное» действие, причем только над нек-рой «воспринимаемой» им частью данных (или промежуточных результатов). На следующем этапе он либо продолжает воспринимать ту же часть данных, либо переходит к другой, находящейся непосредственно рядом с ней.

Составной частью Т. м. является бесконечная в обоих направлениях (условно называемых левым и правым) лента, разделенная на секции или клетки. Каждая клетка либо «пуста», либо в ней «напечатан» один из символов s_1, ..., s_j... ($j \geqslant 1$) (список этих символов для данной машины фиксирован). О пустой клетке говорится, что в ней напечатан «символ s_0». Т. о., каждая клетка удовлетворяет одному (и только одному) из $j+1$ условий: s_0, s_1,..., s_j; при этом лишь конечное число клеток одновременно непусто (т. е. напечатанный в каждой из них символ отличен от s_0). В данной «ситуации» (см. ниже) Т. м. «воспринимает» только одну клетку своей ленты (или напечатанный на ней символ), находящуюся в «поле зрения».

Машина может находиться в одном из конечного числа состояний q_0, q_1,..., q_k ($k \geqslant 1$) (по Тьюрингу — конфигураций), из к-рых q_0 наз. пассивным, или заключительным, а q_1, ..., q_k — активными (перечень q_0, ..., q_k для данной Т. м. фиксирован). Ситуация (по Тьюрингу — полная конфигурация) состоит из указания, какими из символов s_1, ..., s_j заполнены клетки ленты (и какие именно клетки), указания воспринимаемой клетки и указания, в каком из $k+1$ состояний находится машина. Если состояние Т. м. активно, то ситуация наз. активной, в противном случае — пассивной.

В данной активной ситуации Т. м. совершает (элементарное) действие (по Тьюрингу — шаг). Действие определяется конфигурацией — парой (s_a, q_c), где s_a — воспринимаемый символ, q_c — состояние машины (конфигурация наз. активной или пассивной в зависимости от q_c). Действие след. образом переводит данную ситуацию в результирующую ситуацию: 1) воспринимаемый символ s_a заменяется на s_b (допускается случай $a = b$); 2) лента передвигается в машине так, что воспринимаемая клетка в результирующей ситуации либо оказывается на одну клетку левее или правее клетки, воспринимаемой в данной ситуации, либо совпадает с первоначально воспринимаемой клеткой (в этом случае передвижения ленты в буквальном смысле не происходит); 3) состояние q_c заменяется на q_d (допускается $c = d$). В пассивной ситуации никакого действия не производится.

«Работа» Т. м. протекает след. образом. Пусть машина находится в нек-рой активной ситуации, называемой начальной (или входными данными), состояние к-рой есть q_1 (этого всегда можно добиться выбором обозначений). Из нач. состояния Т. м. в результате элементарного действия переходит в др. состояние. Если последнее активно, происходит следующее элементарное действие и т. д. Если этот процесс приводит в конце концов к пассивной ситуации, называемой заключит. ситуацией (или результатом, или выходными данными), то машина «останавливается». В этом случае говорят также, что машина перерабатывает нач. ситуацию в заключительную.

Для описания элементарного действия используются выражения вида s_bLq_d [L — от left (левый) — полученная воспринимаемая клетка находится непосредственно левее данной воспринимаемой клетки], s_bCq_d [C—от center (центр) — положение воспринимаемой клетки не меняется] или s_bRq_d [R — от right (правый) — воспринимаемая клетка правее данной].

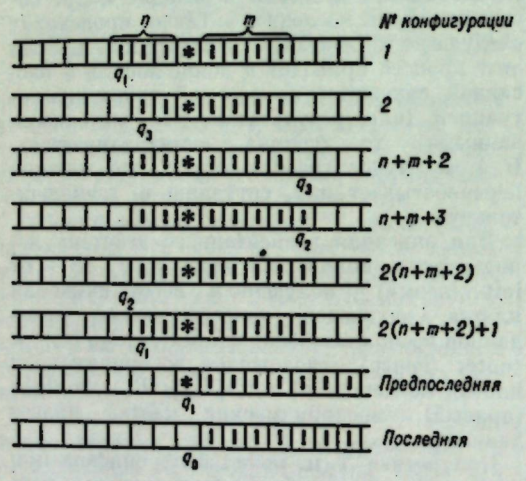
Конкретная Т. м. может быть описана при помощи ф-ции, преобразующей активные конфигурации в соответствующие им элементарные действия. Эта ф-ция обычно задается конечной таблицей с k строками для активных состояний и $j+1$ столбцами для условий клетки.

На ленте Т. м. различным образом можно изобразить натуральные числа и их конечные последовательности (напр., при помощи изображения членов последовательности, отделенных друг от друга «символом» s_0 — пустой клеткой). Пример Т. м., осуществляющей к.-л. конкретный алгоритм,— машина, перерабатывающая два числа (последовательности «палочек», разделенные «звездочкой») в их сумму (алгоритм сложения). Пусть для определенности в нач. конфигурации любая Т. м. «воспринимает» самую левую из клеток, содержащих отличный от s_0 символ. Тогда алгоритм сложения описывается схемой.

	q_1	q_2	q_3
|	s_0Rq_2	$\|Lq_2$	$\|Rq_3$
s_0	s_0Rq_1	s_0Rq_1	$\|Cq_2$
*	s_0Cq_0	$*Lq_2$	$*Rq_3$

Из нач. конфигурации Т. м., «стерев» самую левую палочку, перейдет в состояние q_3 и передвинется по ленте вправо (верхняя левая ячейка). Затем она пройдет направо через

все палочки и звездочку (верхняя и нижняя правые ячейки), пока не дойдет до пустой клетки («символ» s_0), поставит в ней палочку и перейдет в состояние q_2. Далее, выполняя команды из ср. столбца, Т. м. пройдет влево, пока не окажется у пустой клетки, после чего переместится на одну клетку вправо и перейдет в состояние q_1. Завершив, т. о., первый цикл работы, машина снова окажется в конфигурации (s, q_1) и начнет новый цикл. Число таких циклов равно n — числу палочек слева от звездочки. После n-го цикла машина, попав в конфигурацию $(*, q_1)$, сотрет звездочку и перейдет в пассивное состояние q_0, т. е. остановится (нижняя левая ячейка). На ленте останется $n + m$ (m — число палочек, стоявших вначале справа от звездочки) палочек, что и требовалось. Отд. конфигурации изображены на рисунке. Этот пример хорошо



показывает громоздкость осуществляемых Т. м. даже самых простых алгоритмов (сравни алгоритм сложения в ст. *Рекурсивные функции*).

Пусть $\varphi(x_1,\ldots,x_n) = x$ ($n \geqslant 1$; x и все x_i — натуральные числа) — нек-рая ф-ция, определенная, быть может, не для всех упорядоченных наборов $x_1,\ldots, x_n$. Если данная Т. м. любой набор $x_1,\ldots, x_n$ из области определения ф-ции φ, записанный в нач. ситуации на ленте машины, перерабатывает в соответствующее значение $\varphi(x_1,\ldots,x_n) = x$ в качестве результата, то говорят, что эта Т. м. вычисляет ф-цию φ. Ф-ция наз. вычислимой по Тьюрингу, если существует Т. м., к-рая ее вычисляет.

Система предписаний, могущая быть заданной при подходяще выбранных обозначениях в виде таблицы нек-рой Т. м. и перерабатывающая нек-рые (не обязательно любые) слова из алфавита $s_1,\ldots,s_j$ в слова из того же алфавита, наз. алгоритмом в смысле Тьюринга.

Известно неск. различающихся в неприципиальных деталях определений Т. м. В частности, первонач. формулировка самого Тьюринга отличалась от изложенной выше тем, что рассматривалась лента, бесконечная лишь в одну сторону. Независимо от Тьюринга еще более четкая в логич. отношении концепция абстрактной вычислит. машины была выдвинута в 1936 амер. ученым Э. Постом. В терминах настоящей статьи машина Поста — это примерно то же, что Т. м., перерабатывающая слова в двухбукв. алфавите (штрих и пустой символ). Элементарные действия машины Поста: переход по ленте вправо или влево на одну клетку от воспринимаемого символа, проверка наличия штриха в воспринимаемой клетке, печатание и стирание штриха.

В совр. математике известно неск. независимых определений понятий вычислимой ф-ции (см. *Рекурсивные функции*). Определения Тьюринга и Поста в известном смысле являются попытками непосредств. формализации действий вычислителя, следующего нек-рому алгоритму (в содержат. смысле этого слова). Тот факт, что определение Тьюринга оказалось эквивалентным др. определениям алгоритма и вычислимой ф-ции, есть один из существ. доводов в пользу т. н. осн. гипотезы теории алгоритмов и теории рекурсивных ф-ций. Гипотеза эта состоит в утверждении полноты каждого из упомянутых определений алгоритма, т. е. что любая практич. задача, приводящая к необходимости создания эффективного вычислит. метода (алгоритма), может быть поставлена в точных математич. терминах.

Для Т. м. характерна чрезвычайная расчлененность элементарных действий по сравнению с элементарными операциями, выполняемыми ЦВМ. Более принципиальное отличие Т. м. от ЦВМ заключается в бесконечности ленты Т. м. (для ЦВМ это означало бы бесконечную внешнюю память). Обычно эту идеализацию работы вычислителя, совершаемую при определении Т. м., оправдывают ссылкой на т. н. абстракцию потенциальной осуществимости, позволяющую отвлекаться от ограниченности наших временны́х и пространств. возможностей (в применении к ЦВМ эта абстракция означает допущение возможности увеличивать по мере надобности внешнюю память машины, напр., подклеивая куски к магнитной ленте). Однако именно в свете приложений теории алгоритмов алгоритм, требующий для своего осуществления, напр., $10^{10^{10}}$ (число, большее числа атомов в Галактике) шагов, не может не вызвать серьезных возражений (не снимаемых и ссылками на возрастающую скорость работы ЦВМ).

Если отвлечься от отмеченного различия в понятиях Т. м. и ЦВМ, то первую, в известном смысле, можно считать прообразом второй. В связи с этим в описаниях Т. м. часто используются такие понятия, как «информация» (для нач. и заключит. ситуаций), «память» (для ленты), «логич. блок» («осуществляющий» по этим описаниям «работу» Т. м.) и т. п. Следует отметить, что при всей наглядности таких описаний, подчеркивающих аналогию Т. м. и ЦВМ, чисто математич. понятие Т. м. не нуждается для своей формулировки в каких бы то ни было теоретико-информац. или технич. представлениях и терминах.

Анализ концепции Т. м. показывает, что она может быть положена в основу общего определения «машины» (не обязательно вычислительной), если считать машиной любое устройство, преобразующее систему входных данных в систему выходных. При этом естественно допустить (в соответствии с действит. положением вещей) отклонения от строгой алгоритмичности процесса машинного преобразования «информации», вызванные ошибками (помехами) вероятностного характера,

т. е. считать, что машина есть «материализация алгоритма» со статистич. нарушениями детерминированности алгоритмич. процесса. Такого рода взгляды и высказывались Тьюрингом при рассмотрении вопроса о машинном моделировании человеч. мышления и поведения.

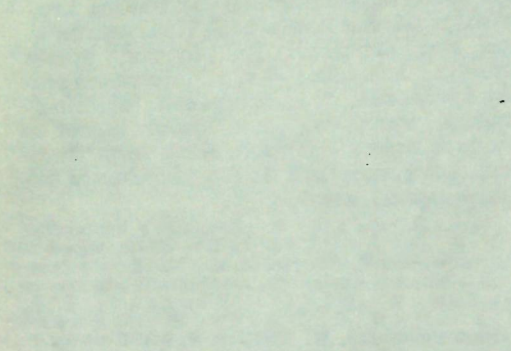
Существ. результат теории алгоритмов (в частности, теории Т. м.) — возможность построения т. н. универс. алгоритма (универс. Т. м.), способного, в известном смысле, выполнить работу любого алгоритма (соответственно Т. м.). В теории программно-управляемых машин этому факту соответствует универсальность действия ЦВМ, к-рые выполняют определ. задачу после введения в их ЗУ как исходных данных, так и программы решения этой задачи. Точно так же универс. Т. м. реализует любой алгоритм (в смысле Тьюринга, а по осн. гипотезе теории алгоритмов и в любом др. смысле) после того, как на ее ленту будут поданы исходные данные задачи (подлежащей решению при помощи алгоритма) и таблица конкретной Т. м., реализующей этот алгоритм. Др. естеств. аналог универс. алгоритма — т. н. *программирующая программа*, т. е. программа, вырабатывающая программу для любой задачи из нек-рого класса (могущего быть очень широким), формулируемой на содержательном (непрограммном) языке.

Лит.: Клини С. К., Введение в метаматематику, М., 1957, § 67; Тьюринг А. М., Может ли машина мыслить?, пер. с англ., М., 1960; Трахтенберг Б. А., Алгоритмы и машинное решение задач, 2 изд., М., 1960, § 8—11; Гнеденко Б. В., Королюк В. С., Ющенко Е. Л., Элементы программирования, М., 1961, гл. 6, § 2; Петер Р., Рекурсивные функции, пер. с нем., М., 1954, § 20.

Ю. А. Гастев.

У

УГОЛ ОТСЕЧКИ (cut-out angle; angle de coupe; Steuerwinkel) — интервал времени, выраженный в единицах фазового угла (в градусах) и равный половине времени пребывания нелинейного элемента электрич. цепи под напряжением, превышающим напряжение в момент наступления след. событий: начала прохождения тока, ограничения величины протекающего тока, прекращения тока в цепи. Данное понятие имеет смысл при воздействии перем. напряжения на электрич. цепь, состоящую из элемента с нелинейной вольтамперной хар-кой. Наступление перечисленных выше состояний зависит от формы вольтамперной хар-ки нелинейного элемента, нач. смещения, отмечательно к-рого действует источник перем. напряжения, а также от его амплитуды. Различают нижний θ_1, верхний θ_2 У. о., верхний θ_3 и нижний θ_4 У. о. провала. Форма тока на выходе цепи с нелинейным элементом может быть найдена с помощью графических построений путем последоват. переноса значений амплитуды входного напряжения на ось абсцисс вольтамперной хар-ки нелинейного элемента и последующего построения по точ-



кам кривой выходного тока (рис.).

Для определения гармоник. составляющих тока по У. о. вычисляются коэфф. разложения, произведение к-рых на величину импульса тока позволяет определить амплитуду соответствующей гармоники в рассматриваемой цепи. Коэфф. разложения определяются через У. о. посредством интегральных соотношений.

Лит.: Харкевич А. А., Основы радиотехники, М., 1963.

И. М. Макаров.

УЗНАЮЩАЯ МАШИНА (recognizing machine; machine à identifier; erkennende Maschine) — машина, обучающаяся *распознаванию образов*. У. м.— один из типов классифицирующих машин (см. *Обучаемая машина*). Имеют вход, на к-ром могут появляться различные ситуации (напр., различные изображения), расчлененные на нек-рое (относительно небольшое) число классов. Количество же возможных ситуаций на входе машины столь велико, что за время обучения может появиться лишь незначительная их часть. В отличие от общего случая классифицирующих машин, в данном случае предполагается, что классы, на к-рые расчленяется множество входных ситуаций, таковы, что каждый класс — это множество, к-рое воспринимается людьми как множество «похожих» объектов, как *образ*. Несмотря на то, что нельзя дать точного определения того или иного образа, представление о каждом из них имеет объективный характер в том смысле, что различные люди, встречавшие в своем предыдущем опыте различные экземпляры одного и того же образа, создают близкие представления об этом образе.

Следует иметь в виду, что не любое множество предметов составляет образ. Так, напр., множество букв *а*, написанных нек-рым случайным и достаточно большим коллективом людей, не составляет образа, т. к. ни один человек не сможет отличить его от множества букв *а*, написанных др. случайным коллективом людей, даже несмотря на то, что все буквы будут различными. Вместе с тем множество всех букв *а* составляет образ.

При работе У. м. ей «показывают» различные фигуры и спец. сигналом, к-рый удобно назвать сигналом «поощрения», сообщают, к какому образу каждая фигура относится. После показа относительно небольшого числа фигур машине показывают др. фигуры, принадлежащие к тем же образам, к-рым машина училась, не сообщая, однако, к какому образу каждая из них принадлежит. Машина должна в большинстве случаев правильно классифицировать появляющиеся фигуры. При этом наиболее существ. требование, предъявляемое к алгоритму работы машины,— требование универсальности. Это значит, что алгоритм без существ. изменений должен быть пригоден для распознавания различных образов, т. е. не должен учитывать никакие их конкретные св-ва.

Поскольку нельзя научиться узнавать произвольные множества объектов за небольшое число показов, то, по-видимому, обучение распознаванию образов возможно только потому, что множества предметов, являющиеся образами, обладают нек-рым универс. св-вом, достаточным также и для построения

У. м. Для простых зрит. образов такое св-во было сформулировано в [1] в виде т. н. гипотезы компактности образов. Пусть воспринимающее устройство машины состоит из нек-рого числа элементов-рецепторов (напр., фотоэлементов). При проектировании изображения на воспринимающее устройство каждый из рецепторов возбуждается в той или иной степени. Рассмотрим многомерное пространство, имеющее столько же осей, сколько рецепторов, и по каждой оси к-рого откладывается число, характеризующее степень возбуждения соответствующего рецептора. Тогда каждому предмету в этом пространстве (т. н. пространстве рецепторов) соответствует точка, а образу — множеству предметов — множество точек. В гипотезе компактности образов предполагается, что множество точек, соответствующее одному образу, является областью с достаточно гладкими границами; точки, соответствующие разным образам, не перемешаны и могут быть разделены достаточно гладкой поверхностью.

Воспользовавшись понятием пространства рецепторов, задачу об обучении машины распознаванию зрит. образов можно сформулировать так. В процессе обучения появляются точки пространства рецепторов. Известно, к какому образу принадлежит каждая точка, и то, что каждому образу соответствует компактная область. Нужен алгоритм, к-рый по относительно небольшому числу точек приводил бы к достаточно точному разделению областей. Оказывается, что предположения о компактности достаточно для построения такого алгоритма, причем может быть построено много различных алгоритмов разделения областей. Осн. цель алгоритмов — провести гиперповерхность в пространстве рецепторов, к-рая, пусть даже приблизительно, отделяла бы одну компактную область от другой. Если такая гиперповерхность построена, то вновь «увиденные» предметы машина сможет относить к тому или иному образу в зависимости от того, «по какую сторону» от гиперповерхности окажется точка, соответствующая данному предмету.

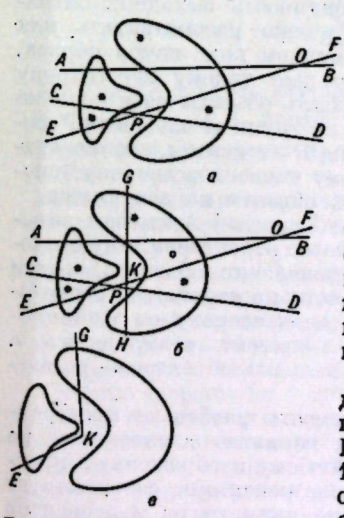


Рис. 1. Обучение распознаванию методом разделяющих плоскостей.

Метод разделяющих плоскостей. Рассмотрим (рис. 1, *а*, *б*, *в*), каким образом находится разделяющая поверхность в этом алгоритме. Для наглядности пространство рецепторов изображено в плоскости. Предположим, что надо научить машину различать два образа и что соответствующие им области расположены так, как показано на рис. 1. Назовем один образ *а*, другой — *b*. Предположим далее, что машине показали несколько различных экземпляров *а* и *b* («показанные» точки отмечены на рис. звездочками), и машина провела несколько плоскостей. При этом все пространство окажется разбитым на многогранники. Машина проводит плоскости так, чтобы в одном многограннике не оказалось двух точек, соответствующих разным образам. Тогда все многогранники разобьются на три типа: 1) содержащие точки *а* (напр., *CPE*); 2) содержащие точки *b* (напр., *AOF*); 3) не содержащие никаких точек (напр., *DPE*). Если теперь машине показать такой экземпляр образа *b*, к-рому в пространстве рецепторов соответствует точка, отмеченная кружком, то в многограннике *AOPC* окажутся точки, относящиеся к двум разным образам. Тогда машина проводит случайным образом новую плоскость (или, если понадобится, несколько плоскостей), но так, чтобы во вновь образовавшихся многогранниках опять же не встречалось точек, относящихся к разным образам (рис. 1, *б*). Т. о., возникает ситуация, аналогичная той, с к-рой начато рассмотрение алгоритма.

После того как машине будет показано достаточно большое число предметов и она проведет все необходимые разделяющие плоскости, машина переходит к выделению из этих плоскостей разделяющей поверхности. После проведения большого количества плоскостей первоначально проведенные плоскости могут оказаться излишними, ничего не разделяющими. В нашем примере такими плоскостями оказываются плоскости *AB* и *CD*. Эти плоскости выбрасываются. Далее машина находит такие границы к.-л. двух многогранников, к-рые можно выбросить с тем, чтобы в каждом многограннике, образовавшемся после выбрасывания границ, не встречались точки, относящиеся к разным образам. В рассматриваемом примере такими «лишними» границами оказываются границы *KF* и *KH*. В результате выбрасывания этих границ остается поверхность, к-рая и принимается за разделяющую (рис. 1, *в*).

Алгоритм разделяющих плоскостей относительно легко реализуется на ЦВМ [1, 2].

Метод потенциальных функций [4]. Пусть с каждой точкой, появившейся в процессе обучения, будет связана нек-рая ф-ция, максимальная в этой точке и убывающая по всем направлениям от нее (точка, т. о., окажется источником нек-рого потенциала). Такой потенц. ф-цией может быть, напр., ф-ция

$$\varphi(x, y) = \frac{1}{1 + aR^2(x, y)},$$

где a — коэфф., от к-рого зависит скорость убывания φ; $R(x, y)$ — определенное к.-л. образом расстояние между точкой y — источником, и точкой x, в к-рой вычисляется потенц. ф-ция. Значение φ в каждой точке можно считать мерой удаленности этой точки от точки-источника.

Опишем действие алгоритма рекуррентно. При появлении в процессе обучения первой точки она рассматривается как источник потенциала, снабженный индексом, указывающим, к какому образу эта точка принадлежит. Пусть к n-му шагу алгоритма в памяти машины хранятся коды ранее появившихся точек со своими индексами. При появлении новой точки вычисляются суммы значений

потенциалов в этой точке от всех источников с одним и тем же индексом, и новая точка относится машиной к образу, к-рому соответствует индекс при макс. сумме. Если эта индексация оказалась правильной, то машина забывает эту точку и переходит к следующему шагу алгоритма. В противном случае машина запоминает код этой точки с ее истинным индексом. Т. о., значение суммы потенц. ф-ций с нужным индексом в рассматриваемой точке повышается, т. е. происходит «исправление ошибки».

Рассмотрим ф-цию, представляющую собой сумму потенц. ф-ций, источниками к-рых являются появившиеся в процессе обучения точки, принадлежащие одному образу. Если иметь в виду гипотезу о компактности образов, то легко видеть, что эта ф-ция максимальна в области, соответствующей данному образу и убывает при удалении от этой области. Те точки пространства рецепторов, где две суммарные ф-ции, относящиеся к разным образам, равны, образуют поверхность, разделяющую эти две области. На рис. 2 на условном примере показан ряд суммарных ф-ций для двух образов и линия c—c, разделяющая две области a и b.

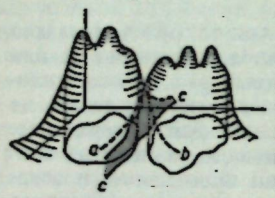


Рис. 2. Вид суммарных ф-ций для двух образов в областях a и b.

Персептрон [2, 5,6]. Амер. ученый Ф. Розенблатт разработал У. м., названную им персептроном (от лат. perception — понимание, познание). В этой машине (рис. 3) выходы рецепторов поступают в т. н. ассоциативные элементы, или A-элементы. Все

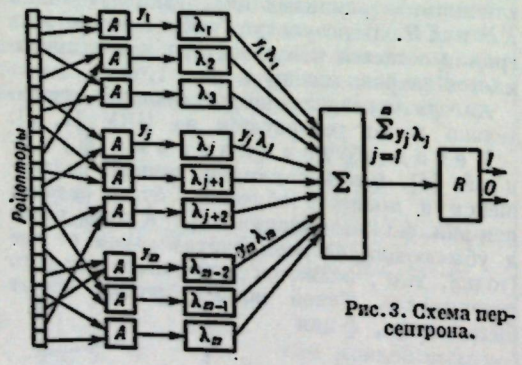


Рис. 3. Схема персептрона.

они одинаковы, а их число близко к числу рецепторов. Каждый A-элемент имеет несколько входов и один выход, причем каждый из рецепторов к данному A-элементу может быть подключен со знаком минус либо со знаком плюс, либо вообще не подключен. Выбор рецепторов, подключаемых к данному A-элементу, так же как и выбор знака подключения, случаен. В ходе эксперимента связь рецепторов с A-элементами остается неизменной. A-элементы производят алгебраич. суммирование сигналов, поступивших на их входы, и полученную сумму сравнивают с нек-рой величиной θ. Если сумма больше θ, A-элемент возбуждается и выдает на выходе сигнал, равный 1. Если сумма меньше θ, A-элемент остается невозбужденным и его выходной сигнал равен 0. Т. о., выходной сигнал j-го A-элемента

$$y_j=\begin{cases} 1, & \text{если } \left(\sum_{i=1}^{n} r_{ij}x_i-\theta\right)\geqslant 0 \\ 0, & \text{если } \left(\sum_{i=1}^{n} r_{ij}x_i-\theta\right)<0, \end{cases}$$

где r_{ij} принимает значение $+1$, если i-й рецептор подключен ко входу j-го A-элемента со знаком плюс, значение -1, если рецептор подключен со знаком минус, и значение 0 — если i-й рецептор к j-му A-элементу не подключается ($j=1,2,\ldots,m$, где m — число A-элементов). Выходные сигналы A-элементов поступают в усилители с переменным коэфф. усиления λ_j, к-рый может быть также отрицательным. Выходные сигналы усилителей суммируются. Суммарный сигнал

$$\sigma=\sum_{j=1}^{m}\lambda_j y_j$$

поступает на выход т. н. «реагирующего элемента», или R-элемента, выход к-рого равен

$$\begin{array}{ll} 1, & \text{если } \sigma\geqslant 0 \\ 0, & \text{если } \sigma<0. \end{array}$$

Если окажется возможным так подобрать $\lambda_1,\ldots,\lambda_m$, чтобы персептрон с достаточной надежностью выдавал на выходе 1 при появлении на его входе фигур одного образа и 0 — при появлении фигур др. образа, то персептрон окажется способным распознавать эти два образа.

Для распознавания нескольких образов может быть использован персептрон несколько иной структуры. В таком персептроне A-элементы разбиты на несколько групп, каждая из к-рых связана со своим сумматором и R-элементом. Совокупность выходных сигналов R-элементов можно рассматривать как выраженный в двоичном коде номер образа, что в принципе и дает такому персептрону возможность разбивать объекты на несколько классов. Каждая из групп A-элементов, соединенных со своим R-элементом, вполне аналогична описанному выше персептрону, способному разбивать объекты на два класса.

Легко видеть, что каждый A-элемент определяет в пространстве рецепторов такую плоскость, что при появлении объектов, к-рым соответствуют точки пространства рецепторов, лежащие по одну сторону от этой плоскости, данный A-элемент возбуждается, а при появлении остальных объектов — не возбуждается.

Тогда все A-элементы разбивают пространство рецепторов с помощью m плоскостей на многогранники. Любому изображению, проектируемому на поле рецептора, соответствует определ. состояние каждого из A-элементов персептрона. Из выходных сигналов A-элементов, т. е. из величин y_j, может быть образован m — разрядный двоичный код, причем в j-м разряде кода будет стоять 1, если j-й A-элемент возбужден, и 0 — в противном случае. Этот же самый код характеризует положение многогранника, в к-рый попала точка, соответствующая данному изображению. Единица в j-м разряде кода означает, что многогранник лежит по одну сторону j-й плоскости, а нуль,— что многогранник лежит по другую.

При данной комбинации коэфф. λ_j нек-рым кодам будет соответствовать 1, а остальным кодам — 0 на выходе R-элемента. Многогранники, к-рым соответствуют коды первого типа, относятся персептроном к 1-му классу, остальные многогранники — ко 2-му классу. Т. о., персептрон формирует из кусков случайно проведенных плоскостей границу между двумя частями пространства рецепторов. Цель обучения заключается в наилучшем приближении этой поверхности к действит. границе между двумя областями пространства рецепторов, соответствующими двум образам, к-рым производится обучение персептрона.

Обучение персептрона производится так. Пусть требуется, чтобы персептрон выдавал 1 при появлении объектов a и 0 — при появлении объектов b. При появлении в процессе обучения очередного объекта происходит индексация этого объекта на основе имеющихся в данный момент коэффициентов λ_j. Если эта индексация правильна, то λ_j сохраняются; если при появлении объекта a на выходе персептрона появился 0, то коэфф. λ_j при всех возбужденных в данный момент A-элементах увеличиваются на 1, если же при появлении объекта b на выходе персептрона появляется 1, то λ_j при всех возбужденных A-элементах уменьшаются на 1. Т. о., λ_j изменяются в сторону исправления ошибки.

Ф-ция σ в каждом такте работы персептрона положительна (или равна нулю) в той части пространства, к-рую персептрон относит к одному образу, отрицательна в области, относимой к др. образу, и меняет знак при переходе через разделяющую поверхность, т. е. ведет себя так же, как разность двух разных сумм потенц. ф-ций, выстраиваемых в алгоритме потенц. ф-ций. Ф-ция σ зависит от λ_j и, следовательно, меняется после каждой ошибки персептрона. Образуем

$$\Delta\sigma=\sigma'-\sigma=\sum_{j=1}^{m}\Delta\lambda_j y_j,$$

где $\sigma=\Sigma\lambda_j y_j$ перед нек-рым тактом обучения, а $\sigma'=\Sigma\lambda'_j y_j$, λ'_j — коэфф. после этого такта. Пусть в данном такте произошла ошибка.

Рассмотрим сначала в качестве значений $y_j,\ldots,y_m$ код многогранника, в к-рый попала точка в данном такте. В соответствии с алгоритмом обучения $\Delta\lambda_j$ отличны от 0 только для тех y_j, к-рые равны 1. Поэтому $\Delta\sigma$ для данного многогранника по модулю равна числу A-элементов, возбужденных при попадании точки в этот многогранник. При удалении от рассматриваемого многогранника вдоль прямых в разные стороны $\Delta\sigma$ будет меняться и уменьшаться на единицу каждый раз, когда будет пересекаться плоскость с «положительной» стороны. Т. о., при исправлении ошибки к ф-ции σ прибавляется или вычитается ф-ция, падающая при удалении от появившейся точки, т. е. аналогичная используемой в методе потенц. ф-ций. С этой точки зрения персептрон реализует алгоритм потенц. ф-ций при нек-ром определенном их выборе.

Математическая теория У. м. Ниже без ограничения общности имеется в виду обучение машины распознаванию двух образов a и b. Рассматривается пространство входов X, построенное так, чтобы каждой входной ситуации (изображению) взаимно однозначно соответствовала точка этого пространства. В частном случае пространство X есть пространство рецепторов. Образы a и b не пересекаются, т. е. в пространстве X существует по крайней мере одна разделяющая ф-ция $\psi(x)$, принимающая положит. значения на точках, соответствующих образу a, и отрицат. значения на точках, соответствующих образу b [значения $\psi(x)$ в остальных точках безразличны]. Узловой вопрос математич. теории У. м. — строгая формулировка предположения о классах объектов, к-рым машина должна быть способна обучиться, предположения, эквивалентного гипотезе компактности образов. Эта формулировка имеет следующий вид. В пространстве X существует такая система ф-ций $\varphi_1(x)$, $\varphi_2(x),\ldots$, что для каждой пары разделяемых множеств найдется число N (может быть свое для каждой пары), при к-ром разделяющую ф-цию можно представить в виде

$$\psi(x)=\sum_{i=1}^{N} c_i\varphi_i(x). \qquad (1)$$

Тогда предлагается использовать алгоритм потенц. ф-ций, причем потенц. ф-цию выбирать в виде

$$K(x,\ y)=\sum_{i=1}^{\infty}\lambda_i^2\varphi_i(x)\,\varphi_i(y), \qquad (2)$$

где переменная y отождествляется в процессе реализации алгоритма с появляющейся точкой, а переменная x — текущая точка пространства X, λ_i — действит. числа, такие, что $\lambda_k\neq 0$ при $k=1,2,\ldots,N$ [7].

Лит.: 1) Браверман Э. М., Опыты по обучению машины распознаванию зрительных образов, «АиТ», 1962, т. 23, № 3; 2) Аркадьев А. Г., Браверман Э. М., Обучение машины распознаванию образов, М., 1964; 3) Айзерман М. А., Опыты по обучению машин распознаванию зрительных образов, в сб.: Биологические аспекты кибернетики, М., 1962; 4) Башкиров О. А., Браверман Э. М., Мучник И. Б., Алгоритмы обучения машин распознаванию зрительных образов, основанные на использовании потенциальных функций, «АиТ», 1964, т. 25, № 5; 5) Rosenblatt F., Perceptron simulation experiments, «Proc. I. R. E.», 1960, v. 48, № 3; 6) Хей Дж. С., Мартин Ф. С., Уитмэн С. В., Персептрон Марк I, его конструкция и характеристики, в кн.: Кибернетический сборник. Сб. переводов, [№] 4, М., 1962; 7) Айзерман М. А., Браверман Э. М., Розоноэр Л. И., Теоретические основы метода потенциальных функций в задаче об обучении автоматов разделению входных ситуаций на классы, «АиТ», 1964, т. 25, № 6.

Э. М. Браверман.

УЛЬТРАЗВУК (ultrasonics; ultra-son; Ultraschall)—упругие колебания и волны, частоты к-рых превышают 15 000 *гц*. Первоначально У. и слышимые звуки различали лишь по признаку восприятия или невосприятия человеч. ухом. Однако порог слышимости у различных людей колеблется от 7000 до 25 000 *гц*, причем установлен факт восприятия человеком У. частотой 30 000—40 000 *гц* через механизм костной проводимости. Поэтому нижняя частотная граница У. принята условно. Верхняя частотная граница У. простирается до частот 10^{13}—10^{14} *гц*, т. е. до частот, при к-рых длина волны делается сравнимой с межмолекулярными расстояниями в твердых телах и жидкостях. В газах эта граница лежит ниже и определяется длиной свободного пробега молекулы. Область частот 10^9—10^{14} *гц* иногда называют гиперзвуками. Однако всю ее сплошь пока пройти не удалось. Колебания наиболее высокой частоты, к-рые удалось возбудить в жидкости, лежат в области $3\cdot10^9$—$4\cdot10^9$ *гц*;

в твердых телах (монокристаллах) на порядок выше. В диапазоне более высоких частот производились лишь наблюдения отд. частот У., возникающих, напр., в жидкости как следствие флуктуаций плотности. Т. к. с ростом частоты существенно увеличивается *ультразвука поглощение*, то растут трудности возбуждения и обнаружения У. Поэтому в области гиперзвуков применяются спец. методы возбуждения, приема и прямого усиления У. *Ультразвуковой волны скорость* лежит в области сотен *м/сек* для газов и тысяч *м/сек* для твердых тел; жидкости занимают промежуточное положение. Изучением У. занимался франц. ученый Савар (1830), сделавший первые попытки установить порог слышимости человеч. уха, англ. ученый Гальтон (1883), нем. физик Вин (1903), русский физик П.Н. Лебедев и его школа, изучившие поглощение У. и разработавшие методику измерения *давления звукового поля*. Существ. вклад был сделан франц. физиком П. Ланжевеном, к-рый, разрабатывая УЗ установку для обнаружения подводных лодок, решил ряд физич. и технич. задач, положив начало гидролокации (см. *Гидролокатор*). След. этапом были работы амер. физиков Р. Вуда и А. Лумиса (1927), к-рые, получив высокой *интенсивности ультразвук*, показали, что У. обладает свойством оказывать необратимое воздействие на вещество и на живые организмы. В 1928 сов. ученый С. Я. Соколов предложил использовать У. для обнаружения неоднородностей (дефектов) в металлич. изделиях и заготовках, положив этим начало *ультразвуковой дефектоскопии*.

Использование У. развивается в направлениях: *ультразвуковой технологии*, позволяющей производить необратимые воздействия на вещество и на ход физико-химич. процессов посредством У. интенсивностью от единиц *вт/см²* (см. *Ультразвуковой ламповый генератор*, *Ультразвуковой генератор машинный*, *Ультразвуковой генератор импульсный*) до сотен тысяч *вт/см²* (см. *Фокусирующая акустическая система*); *ультразвукового контроля*, основанного на зависимости поглощения и скорости У. от состояния среды, через к-рую происходит его распространение; ультразвуковых методов локации, линии задержки сигналов, медицинской диагностики и др., основанных на способности УЗ колебаний высших частот распространяться прямолинейными пучками (лучами), следовать законам геометрич. акустики (см. *Визуализация звуковых полей*), и вместе с тем распространяться с относительно небольшой скоростью (см. *Гидролокатор*, *Ультразвуковая рыбная разведка*, *Линия задержки*).

Особую роль играет У. в изучении строения и свойств вещества, т. к. при их помощи сравнительно просто поддаются определению самые разнообразные хар-ки материальных сред, как, напр., упругие и вязко-эластические константы, термодинамич. хар-ки, формы поверхностей Ферми, дислокации, несовершенства кристаллич. решетки и др. Соответствующий раздел учения об У. получил название молекулярной акустики.

УЗ колебания возбуждаются *излучателями ультразвука*, обнаруживаются *приемниками ультразвука*. Однако существующие пьезоэлектрич. и магнитострикц. преобразователи пригодны лишь в диапазоне частот до 10^8 *гц* и не могут быть использованы в гиперзвуковом диапазоне. Между тем, гиперзвуковой диапазон приобретает большой интерес в связи с новой областью науки (по аналогии с квантовой радиофизикой и квантовой оптикой ее можно назвать квантовой акустикой), изучающей эффекты взаимодействия ВЧ колебаний кристаллич. решетки (т. н. фононов) с внешними электрич. и магнитными полями, свободными электронами и спинами, а также с квантами света — фотонами. Из уже реализованных возможностей, открытых указанной новой областью науки, важнейшая — т. н. прямое усиление УЗ колебаний дрейфом носителей в ПП или в полуметаллах (напр., в кристаллах висмута). Уже построенные усилители, в известной степени являющиеся аналогами *лампы бегущей волны*, позволяют получать усиление бегущего УЗ импульса в 3—5 *дб* на 1 *мм* длины кристалла в диапазоне верхних частот У. (*Ггц*) при сравнительно низком уровне шумов. Такие усилители не только решают вопрос усиления УЗ сигналов в гиперзвуковом диапазоне, напр. для линий задержки, где это имеет существ. значение, но и открывают возможность решить проблему усиления электромагнитных колебаний гигагерцевого диапазона. Для возбуждения и приема У. колебаний в указанном диапазоне частот создаются тонкослойные (т. е. пригодные для весьма высоких частот) резонансные излучатели. Это достигается такой обработкой поверхности ПП пьезоэлектрич. кристалла (напр., сернистого кадмия), что на ней создается очень тонкий слой, отличающийся от основной массы кристалла существенно бо́льшим сопротивлением. Если подвергнуть такой кристалл воздействию электрич. поля, то оно окажется почти целиком приложенным к тонкому поверхностному слою кристалла, к-рый и возбудится на собственной, достаточно высокой частоте. Эффект этот обратим, т. е. при распространении через такой слой УЗ колебаний резонансной для него частоты, на его обкладках появится соответствующая эдс. Последнее достижение в области изучения У.— открытие эффекта когерентного возбуждения гиперзвуковых колебаний кристалла кварца при освещении его пучком света от сверхмощного лазера.

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., 2 изд., М., 1957; Матаушек И., Ультразвуковая техника, пер. с нем., М., 1962; Михайлов И. Г., Соловьев В. А., Сырников Ю. П., Основы молекулярной акустики, М., 1964; Чабан А. А., Усиление ультразвуковых и гиперзвуковых волн в кристаллах, «АЖ», 1964, вып. 2, с. 137—46; Physical acoustics, ed. by W. P. Mason, v. 1, N. Y.—L., 1964. *Л. Д. Розенберг.*

УЛЬТРАЗВУКА ПОГЛОЩЕНИЕ (ultrasonic absorption; absorption d'ultra-sons; Ultraschallabsorption) — уменьшение *интенсивности ультразвука* под действием только диссипативных процессов, в отличие от УЗ затухания, к-рое имеет в виду не только У. п., но также различного рода недиссипативные процессы, приводящие к уменьшению направленного потока звуковой энергии (напр., рассеяние УЗ на твердых или газовых включениях в жидкостях или на отд. кристаллитах в поликристаллич. твердых телах). Хар-кой затухания является амплитудный коэфф. затухания α; для плоской волны, если на расстоянии (x_2-x_1) *см* амплитуда звукового давления (или колебательной скорости, или

смещения) убывает от $a(x_1)$ до $a(x_2)$, то:

$$\alpha=-\frac{1}{x_2-x_1}\ln\frac{a(x_2)}{a(x_1)}\ \textit{неп/см},$$

причем коэфф. затухания по энергии 2α. [Иногда α выражается в *дб/см* или в *дб/м*, причем α *дб/см* $=8{,}686$ (α *неп/см*)].

В газах и жидкостях источниками классич. (в отличие от релаксационного) У. п. являются потери на вязкое трение, а также потери, вызванные выравниванием темп-ры между разными участками волны и связанные с теплопроводностью среды:

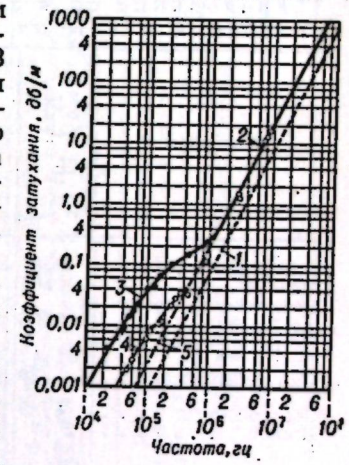
$$\alpha_k=\frac{\omega^2}{2\varrho c^3}\left[\frac{4}{3}\eta+\varkappa\left(\frac{1}{c_v}-\frac{1}{c_p}\right)\right],$$

где ω— круговая частота, ϱ— плотность среды, c — скорость звука в ней, η— сдвиговая вязкость, $\varkappa$ — коэфф. теплопроводности, c_v и c_p— теплоемкости соответственно при пост. объеме и давлении. У. п. в нек-рых одноатомных газах (аргон) и жидкостях (ртуть) близко к α_k (см. табл. 1).

Табл. 1. Поглощение ультразвука в газах и жидкостях

Газ или жидкость	$t°$ (С)	α/f^2 ($сек^2/см$)	Частота ($Мгц$)	α/α_k
Аргон	20	$1{,}9\cdot10^{-13}$	4,250	0,97
Азот	19,9	$1{,}35\cdot10^{-13}$	0,599	1,12
Кислород	19,6	$1{,}68\cdot10^{-13}$	0,599	1,0
Воздух	20	$3-1{,}7\cdot10^{-13}$	0,15—1,5	2,4—1,4
Ацетон	21—25	$23\cdot10^{-17}$	0,6—230	3,7
Бензол	20	$850\cdot10^{-17}$	1—165	100
Вода	20	$23\cdot10^{-17}$	1—250	3,0
Глицерин	20—27	$2500\cdot10^{-17}$	0,15—4	—
	21—23	$1700\cdot10^{-17}$	6—21	—
Касторовое масло	21,4	$2100\cdot10^{-17}$	15,72	0,26
	21,5	$4500\cdot10^{-17}$	4,29	0,57
	21,6	$8400\cdot10^{-17}$	3,95	1,17
Ртуть	20—25	$6\cdot10^{-17}$	20—1000	1,2
Спирт метиловый	20—25	$34\cdot10^{-17}$	1—250	2,5
Спирт этиловый	20—25	$54\cdot10^{-17}$	1—220	4,4
Толуол	20—25	$80\cdot10^{-17}$	1—75	10,3

В большинстве жидкостей и газов коэфф. У. п. больше классич. и в определ. областях частот непропорционален квадрату частоты, что связано с различного рода неравновесными термодинамич. (релаксац.) процессами, проявляющимися при быстром периодич. изменении состояния среды в УЗ волне. Эти процессы характеризуются временем релаксации τ (или, в более сложном случае, неск. временами релаксации). На НЧ $\omega\tau\ll1$: равновесие «успевает» устанавливаться и релаксац. У. п. мало; У. п. на длину волны максимально при $\omega\tau\approx1$; на ВЧ $\omega\tau\gg1$: релаксация «заморожена» и поглощение на длину волны невелико. Релаксац. У. п. описывается введением объемной вязкости $\xi=\tau\varrho(c_\infty^2-c_0^2)/(1-\omega^2\tau^2)$, где c_∞ и c_0— скорости звука на ВЧ и НЧ. Тогда релаксац. коэфф. У. п.: $\alpha_p=\frac{\omega^2}{2\varrho c^3}\xi$. Общий коэфф. У. п. $\alpha=\alpha_k+\alpha_p$. В жидкостях и газах возможны и другие виды потерь, напр. потери на лучеиспускание, к-рые для УЗ волн очень малы и обычно не учитываются. У. п. в газах и жидкостях зависит от темп-ры среды, степени очистки ее от жидких, твердых и газообразных примесей. Напр., в жидкости, содержащей газовые пузырьки, затухание УЗ значительно увеличивается, особенно если среди пузырьков есть пузырьки с размером, равным резонансному. На затухание УЗ в морской воде оказывают бо́льшее влияние не только условия распространения УЗ, но и воздушные пузырьки и различные биологич. объекты (планктон и др.). Поэтому данные рисунка следует рассматривать как ориентировочные. За исключением очень вязких жидкостей и растворов полимеров, сдвиговые УЗ волны в газах и жидкостях практически полностью поглощаются на расстояниях порядка длины волны, их коэфф. У. п. $\alpha=(\varrho\omega/2\eta)^{1/2}$.



Затухание ультразвука в пресной и морской воде: *1* — классическое поглощение; *2* и *3* — экспериментальные кривые для морской воды; *2* и *4* — экспериментальные кривые для пресной воды; *5* — экстраполяция на низкие частоты высокочастотных измерений в пресной воде.

Выше рассмотрено затухание волн малой амплитуды, для к-рых акустич. числа Рейнольдса $R=P'/b\omega$ [где P'— амплитуда звукового давления, $b=(2\varrho c^3/\omega^2)\alpha$] много меньше единицы. При $R\geqslant1$ затухание перестает быть экспоненциальным (коэфф. затухания зависит от расстояния), волна в процессе распространения меняет форму профиля так, что ее передний фронт становится все более и более крытым, синусоидальная волна превращается в пилообразную. Поглощение пилообразных волн в газах в $\sim R$ раз, а в жидкостях в $(4-6)R$ раз больше, чем волны малой амплитуды. Это обстоятельство, как, впрочем, и ряд других факторов (напр., возникновение в жидкости *кавитации ультразвуковой*), ограничивает передачу через жидкость и газ очень больших УЗ мощностей.

Вопрос о затухании и поглощении УЗ волн в твердых телах является значительно более сложным, с одной стороны — из-за большего многообразия физич. св-в и структур (аморфных, кристаллич., поликристаллич.) твердых тел и, следовательно, большего различия в механизме поглощения, с другой стороны — в связи с зачастую одновременным действием различных механизмов поглощения в одной и той же области частот; формально для описания У. п. вводят комплексные модули упругости; отношение комплексной части модуля к его действит. части называется коэфф. потерь, к-рый для сдвиговых (крутильных) волн имеет вид $k_\mu=\omega\eta/\mu_0$, где μ_0—модуль сдвига, η— вязкость твердого тела; для продольных волн в стержнях $k_E=E'/E_0$, где E — комплексная, а E_0— действит. часть модуля Юнга. Коэфф. У. п. для продольных или крутильных колебаний стержней $\alpha_s=\omega k_s/2c_s=\pi/Q_sc_s$, где k_s, c_s и Q_s— соответственно коэфф. потерь, скорость звука и добротность либо для продольных ($s=E$), либо для крутильных ($s=\mu$) колебаний. Коэфф. потерь связан с логарифмич. декрементом затухания δ_s соотношением $\delta_s=\pi k_s$. Комплексность модулей приводит к сдвигу фазы между напряжением

и деформацией. В диапазоне нижних УЗ частот (напр., в металлах до 10^5 *гц*, в плавленом кварце до 10^7 *гц*) k_s не зависит от частоты, коэфф. поглощения пропорционален ω. Эти потери часто называют гистерезисными (см. табл. 2).

Табл. 2. Коэффициент затухания продольных α_E и поперечных α_μ колебаний в нек-рых твердых телах

Материал	$\frac{\alpha_E}{f^2} 10^{15}$ $\left(\frac{сек}{см}\right)$	Частоты (*кгц*)	$\frac{\alpha_\mu}{f^2} 10^{15}$ $\left(\frac{сек}{см}\right)$	Частоты (*кгц*)
Алюминий	0,61	2—100	—	—
Магний	1,08	2—100	—	—
Вольфрамоуглеродистая сталь *	0,38	2—100	—	—
Молибденовая сталь **	1,42	2—100	—	—
Плавленый кварц	1,23	2—100	0,19	4000—14000
Стекло пирекс	4,89	2—100	—	—
Никель	120,0	20	—	—
	180,0	40	—	—
	220,0	80—160	—	—

* ϱ=8,52 *г/см*³; c_E=4,72 10^5·*см/сек*.
** ϱ=8,39 *г/см*³; c_E=4,70 10^5·*см/сек*.

В том случае, когда $k_s \sim \omega$, коэфф. поглощения пропорционален ω^2 и потери называют вязкими. Такая вязкость может иметь различную природу: трение между отд. кристаллитами в поликристаллич. твердых телах; потери, вызванные взаимодействием УЗ с дислокациями (хотя, по-видимому, не во всех случаях, но для высоких частот УЗ); наконец, нарушение под действием УЗ равновесного распределения колебаний кристаллич. решетки (т. н. фононная вязкость, при к-рой затухание $\sim\omega^2$). Квадратичная зависимость затухания от частоты на высоких УЗ и даже гиперзвуковых частотах наблюдается в монокристаллах (см. табл. 3).

Помимо гистерезисных и вязких потерь, возможны потери за счет теплопроводности. Один из видов этих потерь — выравнивание темпры в различных участках волны (аналогично тому, как это было в газах и жидкостях), возможен только для продольных волн, ибо при распространении сдвиговой волны не происходит сжатия и разрежения среды. Коэфф. У. п. пропорционален ω^2. Расчетные значения коэфф. У. п. за счет теплопроводности α/f^2 для металлов имеют порядок 10^{-18}—10^{-19} *сек²/см*. Другой вид потерь за счет теплопроводности, характерный только для поликристаллов, — термоупругая релаксация. Под действием УЗ волны деформации отд. кристаллитов неоднородны и, следовательно, неоднородно поле темп-р. Выравнивание темп-р приводит к потерям, к-рые зависят от соотношения между периодом волны и временем теплопроводности $\theta \approx d^2/\chi$, где $\chi = \varkappa/\varrho c_p$ — коэфф. температуропроводности, d — средний размер кристаллитов. На НЧ коэфф. поглощения $\alpha \sim T\beta^2\varrho c d^2\omega^2/\chi c_p$, где T — абс. темп-ра, β — коэфф. теплового расширения; в области частот $\chi/d^2 \ll \omega \ll c/d$ $\alpha \sim \frac{T\beta^2\varrho c}{dc_p}\sqrt{\chi\omega}$; при $\omega \gg (c/d)$ $\alpha \sim \omega^2$. При характерных для металлов размерах кристаллитов потери за счет термоупругой релаксации максимальны в области $\sim 10^4$—10^6 *гц*.

Табл. 3. Поглощение ультразвука в нек-рых монокристаллах (по Л. Г. Меркулову)

Кристалл	Направление распространения	Тип волны **	Скорость $c \cdot 10^{-5}$ (*см/сек*)	$\frac{\alpha}{f^2} \cdot 10^{15}$ (*сек²/см*)	Частоты (*Мгц*)
Кварц	X	l	5,75	0,45	15—400
	X	τ	5,10	0,20	300—1500
	Y	квази l	6,01*	0,30	15—1000
	Y	τ	3,92*	0,30	15—1000
	Z	l	6,32	~0,5	15—200
LiF	[100]	l	6,58	1,7	15—200
	[100]	τ	4,90	1,0	10—200
	[110]	l	7,40	1,2	15—200
NaCl	[100]	l	4,78	6,5	5—200
	[100]	τ	2,44	4,5	10—120
	[110]	l	4,50	5,0	5—200
	[111]	l	4,40	4,5	100
KCl	[100]	l	4,52	10,5	5—200
	[100]	τ	1,77	8,5	10—120
	[110]	l	3,89	9,0	5—200
	[111]	l	3,63	8,0	100
KBr	[100]	l	3,56	15	5—200
	[100]	τ	1,35	21	10—120
	[110]	l	3,05	15	5—200

* Скорость по нормали к волновому фронту.
** l — продольные волны; τ — поперечные волны.

Табл. 4. Фактор S в формуле для затухания из-за рассеяния

S \ Металл	Алюминий	Медь	Железо	Магний	Цинк
S_l	$3 \cdot 10^{-4}$	$7{,}4 \cdot 10^{-3}$	$6{,}7 \cdot 10^{-3}$	$2{,}2 \cdot 10^{-4}$	$5{,}6 \cdot 10^{-2}$
S_τ	$3{,}3 \cdot 10^{-3}$	$6{,}7 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	—	—

Помимо гистерезисных и вязких потерь, возможны потери за счет теплопроводности. Один из видов этих потерь — выравнивание темпры в различных участках волны (аналогично тому, как это было в газах и жидкостях), возможен только для продольных волн, ибо при распространении сдвиговой волны не происходит сжатия и разрежения среды. Коэфф. У. п. пропорционален ω^2. Расчетные значения коэфф. У. п. за счет теплопроводности α/f^2 для металлов имеют порядок 10^{-18}—10^{-19} *сек²/см*. Другой вид потерь за счет теплопроводности, характерный только для поликристаллов, — термоупругая релаксация. Под действием УЗ волны деформации отд. кристаллитов неоднородны и, следовательно, неоднородно поле темп-р. Выравнивание темп-р приводит к потерям, к-рые зависят от соотношения между периодом волны и временем теплопроводности $\theta \approx d^2/\chi$, где $\chi = \varkappa/\varrho c_p$ — коэфф. температуропроводности, d — средний размер кристаллитов. На НЧ коэфф. поглощения $\alpha \sim T\beta^2\varrho c d^2\omega^2/\chi c_p$, где T — абс. темп-ра, β — коэфф. теплового расширения; в области частот $\chi/d^2 \ll \omega \ll c/d$ $\alpha \sim \frac{T\beta^2\varrho c}{dc_p}\sqrt{\chi\omega}$; при $\omega \gg (c/d)$ $\alpha \sim \omega^2$. При характерных для металлов размерах кристаллитов потери за счет термоупругой релаксации максимальны в области $\sim 10^4$—10^6 *гц*.

В области частот $\sim 10^6$—10^8 *гц* для поликристаллич. металлов значит. затухание вносится рассеянием УЗ на отд. кристаллитах, к-рое особенно велико для частот $f \sim c/3d$, при этом коэфф. затухания $\alpha \approx 8\pi^4 d^3 f^4 S/9c^4$, где фактор S (см. табл. 4) зависит как от типа волн (S_l — для продольных, S_τ — для поперечных), так и от упругой анизотропии кристаллитов.

Затухание УЗ в твердых телах может значительно увеличиться, если имеются, напр., дефекты литья (раковины в металлах, пузырьки воздуха в стеклах или плавленом кварце и др.), загрязнение металлов шлаком, окалиной и пр. Большое затухание УЗ в резине, каучуке (на 350 *кгц* α=0,15 *неп/см*) и в полимерах (на 2,5 *Мгц*: в полистироле α=0,23 *неп/см*; в поливиниле α=1,15 *неп/см*; в полиметилметакрилате α=2,5 *неп/см*) используется в УЗ технике для получения эффективных поглотителей. Вплоть до области верхних частот УЗ диапазона (10^7—10^8 *гц*) относительно мало́ поглощение в чистом кристаллич. Al_2O_3, рубине и в кристаллич. и плавленом кварце, монокристаллах щелочно-галоидных соединений, в монокристаллах нек-рых металлов (алюминий). В достаточно чистых монокристаллах (кварца, алюминия, кремния, германия) затухание даже гиперзвуковых волн ($\geqslant 10^9$ *гц*) удается значительно уменьшить, понижая темп-ру до темп-ры жидкого гелия.

Лит.: Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Механика сплошных сред, 2 изд., М., 1954; Михайлов И. Г., Распространение ультразвуковых волн в жидкостях, Л.—М., 1949; Markham J. J., Beyer R. T., Lindsay R. B., Поглощение звука в жидкостях, [перевод] «Пробл. совр. физ.», 1953, вып. 9; Mason W. P., Physical acoustics and the properties of solids, [N. Y.—a. o.], 1958; Merkulov L. G., Absorption von Ultraschallwellen in Kristallen bei Frequenzen bis 2000 MHz, в сб.: Proceedings of the third international congress on acoustics, v: 1, Amst.—L.—N. Y., 1961, p. 601. *Л. К. Зарембо.*

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ДЕФЕКТОСКОПИЯ (ultrasonic flaw detection; méthodes non destructives pour le contrôle des matériaux par ultrasons; zerstörungsfreie Materialprüfung mit Ultraschall) — дефектоскопия, основанная на изменении условий распространения упругих, гл. обр. ультразвуковых колебаний. В табл. приведены используемые У. д. типы упругих колебаний, режимы излучения, способы ввода колебаний в контролируемые объекты и диапазоны рабочих частот.

С повышением частоты колебаний чувствительность контроля увеличивается, но потери энергии на затухание при этом возрастают. Поэтому при контроле крупногабаритных изделий, а также изделий из материалов, в к-рых эти потери велики, понижают частоту колебаний; при заданной толщине контролируемого изделия чувствительность метода зависит от степени поглощения (см. *Ультразвука поглощение*) и рассеяния УЗ. С наивысшей чувствительностью (частоты 2—15 *Мгц*) контролируются изделия из легких сплавов. Для стальных изделий используются частоты 0,5—5 *Мгц*. С самой низкой чувствительностью контролируются стали аустенитного класса, медные и никелевые сплавы (частоты 0,5—2,5 *Мгц*), еще ниже чувствительность при контроле пластмасс и резины (5—100 *кгц*).

Для излучения и приема упругих колебаний применяются *пьезоэлектрические преобразователи*, а в диапазоне звуковых и низких УЗ частот — *магнитострикционные преобразователи*. Используются след. способы передачи

Название метода		Вид применяемых упругих колебаний	Режим излучения	Способ ввода колебаний	Диапазон рабочих частот	Регистрируемые параметры	Область применения (обнаруживаемые дефекты)	Чувствительность в оптимальных условиях	Марка УЗ дефектоскопов сов. произ-ва
Теневой метод	основной вариант	Продольные, нормальные	Непрерывный, импульсный	Контактный со смазкой, иммерсионный	0,05 *Мгц*—5 *Мгц*	Амплитуда, фаза	Нарушения сплошности в металлич. полуфабрикатах простой формы и небольшой толщины (листы, плиты, тонкие диски), в резиновых шинах	Миним. площадь ~2—5 мм². Миним. раскрытие ~3—5 мк	Импульсные дефектоскопы, специализированная установка УЗУЛ-1
	зеркальный вариант		Импульсный		0,5 *Мгц*—10 *Мгц*				
Эхо-метод (импульсный метод)		Продольные, сдвиговые, поверхностные, нормальные	Импульсный	Контактный со смазкой, иммерсионный, струйный, бесконтактный	0,2 *Мгц*—25 *Мгц*	Амплитуда, фаза, время	Нарушения сплошности в слитках, поковках, штамповках, плитах, листах, прутках, профилях, проволоке, сварных и заклепочных соединениях, изделиях из пластмасс и фарфора и т. п. Зоны крупнозернистости в металлич. заготовках	Миним. площадь ~0,02 мм². Миним. раскрытие ~ 1 мк	В4-7П, УДМ-1М, ДУК-6В, ДУК-11, ИДП-3М
Резонансный		Продольные, нормальные	Непрерывный, непрерывный с частотной модуляцией	Контактный со смазкой, иммерсионный	0,5 *Мгц*—20 *Мгц*	Входной импеданс, частота	Измерение толщины стенок труб, листов, баллонов, обнаружение зон, пораженных коррозией (при одностороннем доступе)	Диапазон измеряемых толщин от 0,1 до 15 мм. Погрешность измерений ~1%	В4-8Р, УРТ-6, ТУК-4В
Импедансный		Изгибные	Непрерывный	Сухой контакт	1 *гц*—8 *кгц*	Входной импеданс	Нарушение связи между тонкой обшивочной и массивной подложкой в слоистых материалах	Миним. площадь ~ 1 см²	НАД-2
Метод свободных колебаний		Изгибные	Импульсный	Сухой контакт	50 *гц*—25 *кгц*	Амплитуда, частота	Нарушение связи между слоями и дефекты внутри какого-либо слоя в многослойных конструкциях больших сечений из металлич. и неметаллич. материалов	Миним. площадь ~3 см²	ЧИКП-2

упругих колебаний от преобразователя в бракуемое изделие и обратно: бесконтактный и сухой контактный (преимущественно для НЧ); контактный со смазкой (перед контролем на чисто обработанную поверхность изделия наносится слой масла или воды толщиной много менее длины упругой волны); струйный контактный (через струю жидкости, протекающую в небольшом зазоре между пьезоэлементом и поверхностью изделия); иммерсионный (контролируемое изделие погружается в ванну и контакт осуществляется через слой жидкости, толщина к-рого должна быть не менее $^1/_4$ толщины изделия). Преимуществом иммерсионного, струйного и бесконтактного способов является отсутствие износа искательных головок и возможность использования более высоких скоростей сканирования, а также возможность автоматизации контроля.

Осн. хар-ки и возможности методов У. д.:

а) Т е н е в о й м е т о д (иначе — метод звуковой тени, метод сквозного прозвучивания), как правило, предусматривает ввод УЗ колебаний в изделие с одной стороны, а прием — с другой (в зеркальном варианте — с той же). О наличии дефекта в изделии судят либо по уменьшению энергии УЗ в расположенной за дефектом зоне УЗ тени, куда эта энергия проникает только вследствие дифракции, либо по изменению фазы УЗ колебаний, огибающих дефект и прошедших, следовательно, более длинный путь. Для получения более четкой звуковой тени и повышения чувствительности метода наиболее выгодным является использование точечного излучателя, расположенного вплотную к передней поверхности изделия. Такое излучение можно осуществить, напр., фокусируя УЗ с помощью акустич. линз (см. *Фокусирующая акустическая система*). Контроль изделий даже наиболее простой плоскопараллельной формы может осложняться из-за явлений структурной реверберации, интерференции и преломления УЗ, приводящих к искажению показаний индикатора дефектоскопа и требующих усложнения аппаратуры и методики контроля. Контроль теневым методом осуществляется с помощью специализированных теневых, а также универс. импульсных дефектоскопов и применяется для решения задач различной сложности. Перспективы развития теневого метода связаны с использованием «нормальных» волн, совершенствованием зеркального варианта, осуществлением автоматизированных многоканальных систем и созданием устройств для визуализации звукового поля.

б) Э х о - м е т о д позволяет обнаруживать поверхностные и внутр. дефекты в металлич. и неметаллич. полуфабрикатах и изделиях различных габаритов и форм, а также в сварных и заклепочных соединениях, определять координаты этих дефектов, измерять размеры изделий средних и крупных габаритов в местах, недоступных измерению обычными методами, и обнаруживать зоны крупнозернистости в металлич. заготовках и изделиях. Излучатель эхо-дефектоскопа посылает в контролируемое изделие короткие импульсы УЗ, разделенные относительно длит. паузами. Если на пути УЗ имеется препятствие, то отраженные от его поверхности эхо-сигналы попадают на приемное устройство и отмечаются индикатором. Измеряя время от момента посылки импульса до момента приема эхо-сигнала, можно определить расстояние до препятствия, а по амплитуде эхо-сигнала можно судить о размерах препятствия (дефекта). Эхо-метод использует все виды УЗ волн в диапазоне 0,5—25 *Мгц*, вводимых через контактную смазку струйным, иммерсионным или бесконтактным способами. Продольные волны вводят перпендикулярно к поверхности изделия. Сдвиговые, поверхностные и нормальные волны возбуждают обычно путем трансформации продольных или сдвиговых волн при наклонном их падении на поверхность изделия. Контактный вариант эхо-метода применяется гл. обр. для контроля уникальных и серийных деформированных полуфабрикатов и изделий. Искат. головку перемещают по смазанной поверхности изделия (обработанной до чистоты ▽5—▽7) и наблюдают за показаниями индикатора или сигналами автоматич. сигнализатора дефектов. Тип искат. головки выбирается в зависимости от условий контроля с таким расчетом, чтобы УЗ колебания встречали поверхность ожидаемого дефекта под углом, возможно более близким к прямому, т. к. при этом чувствительность возрастает. Иммерсионный вариант эхо-метода позволяет осуществить контроль изделий с криволинейными, более грубо обработанными поверхностями и используется для высокопроизводит. автоматизированного контроля в крупносерийном произ-ве (плиты, штамповки, профили). Для контроля изделий, обладающих значит. протяженностью при небольшом и неизменном сечении (листы, проволока), применяется струйный вариант. Бесконтактный вариант эхо-метода приемлем для контроля прутков и профилей из ферромагнитных материалов; при этом для возбуждения и приема УЗ используется явление *магнитострикции* в материале самого изделия. Контроль эхо-методом осуществляется с помощью универс. эхо-дефектоскопов — сложных приборов, предусматривающих возможность работы на различных частотах, снабженных устройствами для определения координат дефекта, для повышения разрешающей способности (уменьшения «мертвой зоны»), для выравнивания чувствительности по глубине, для программного сканирования, для автоматич. регистрации и записи дефектов и т. д. При решении частных задач (контроль рельсов, турбинных лопаток и т. д.) применяются более простые и компактные специализированные приборы.

в) Р е з о н а н с н ы й м е т о д, основанный на зависимости величины входного импеданса системы от ее волновой длины, позволяет путем определения резонансных частот системы измерить толщину изделий в контролируемой зоне при одностороннем доступе (см. *Ультразвуковая толщинометрия*) и обнаружить нек-рые типы дефектов, расположенных в этой зоне. Используются продольные УЗ колебания в диапазоне частот 0,5—20 *Мец*, вводимые в изделие через контактную смазку или иммерсионным способом. Частота УЗ изменяется вручную или автоматически. Совпадение излучаемой частоты с собств. частотой системы фиксирует индикатор прибора. Резонансные толщиномеры с ручным изменением частоты более портативны, обладают большей чувствительностью и точностью, однако производительность их низка. Они используются в полевых условиях и для контроля объектов с затрудненным доступом. Для контроля серийной продукции обычно применяются толщиномеры с автоматич. изменением частоты. Производительность контроля с помощью таких приборов выше, дальнейшее ее увеличение возможно с введением систем прямого отсчета, автоматич. сигнализаторов и самописцев.

г) И м п е д а н с н ы й м е т о д использует зависимость входного импеданса системы от нагрузки на ее конце, что при контроле слоистых конструкций позволяет обнаруживать зоны нарушения жесткой связи между тонкой наружной обшивкой и массивной подложкой по изменению силы реакции изделия на датчик, возбуждающий в изделии изгибные колебания звуковой частоты.

д) М е т о д с в о б о д н ы х к о л е б а н и й основан на анализе частотного спектра свободных колебаний в системе, возбужденной ударом. Позволяет осуществлять контроль массивных слоистых конструкций для выявления зон нарушения жесткой связи между любой парой слоев и дефектов в каком-либо из этих слоев.

Лит.: Дефектоскопия металлов. Сб. ст., под ред. Д. С. Шрайбера, М., 1959; Ш р а й б е р Д. С., Ультразвуковая дефектоскопия (в печ.); Nondestructive testing handbook, v. 2, N. Y., 1959; K r a u t k r ä m e r J., K r a u t k r ä m e r H., Werkstoffprüfung mit Ultraschall, B., 1961. *Д. С. Шрайбер.*

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ КОАГУЛЯЦИЯ, а к у с т и ч е с к а я к о а г у л я ц и я (ultrasonic coagulation; coagulation ultrasonore; Ultraschallkoagulation),— уменьшение степени дисперсности и числа частиц дисперсной системы под действием звукового поля, вызывающего силы, к-рые приводят к сближению и осаждению взвешенных в газе или жидкости мелких твердых частиц, жидких капелек и газовых пузырьков (см. *Нелинейные эффекты в акустическом поле*, *Дегазация ультразвуковая*). На У. к. влияют электрич. заряды на частицах (капельках), форма частиц и адгезионные силы. Физич. природа У. к. окончательно не выяснена. У. к. аэрозолей практически применяется для очистки пром. дымов и туманов; фильтры (механич., электростатич. и др.) не задерживают мелкодисперсные частицы размерами менее 1 *мк*, составляющие иногда значит. долю всех частиц аэрозоля. При применении У. к. мелкие частицы укрупняются и могут быть далее осаждены фильтрами и обычными механич. улавливателями (см. рис.). Развитию этого метода препятствуют высокая стоимость звуковой энергии и несовершенство соврем. генераторов звука в воздухе (см. *Ультразвуковая сирена*, *Ультразвуковой свисток*). Степень и скорость очистки газа методом У. к. в основном определяются след. величинами: 1) интенсивностью звука (уровнем звукового давления); заметная У. к. начинается при интенсивности звука ок. 0,01 *вт/см²* (уровень звукового давления 140 *дб*) и с ее увеличением значительно интенсифицируется. Для практич. применения необходимо, чтобы интенсивность звука была по крайней мере не менее 0,1 *вт/см²* (уровень звукового давления 150 *дб*); 2) частотой звука (оптимальная частота зависит от дисперсного состава аэрозоля, однако эта зависимость еще не установлена). Обычно используются звуки частотой от 500 *гц* до десятков *кгц*; 3) временем экспозиции, к-рое, в свою очередь, зависит от интенсивности звука. При интенсивностях звука 1,0 *вт/см²* (уровень звукового давления 160 *дб*) весь процесс У. к. протекает в течение секунд и

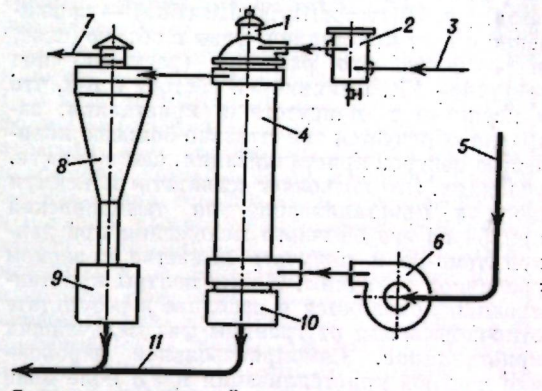


Схема промышленной установки для очистки газа: *1* — акустическая сирена; *2* — фильтр; *3* — подача сжатого воздуха для сирены; *4* — акустическая коагуляционная камера; *5* — ввод запыленного газа; *6* — вентилятор; *7* — выход очищенного газа; *8* — циклон; *9*, *10* — коллекторы пыли; *11* — удаление осажденных загрязнений.

даже долей секунд; 4) исходной концентрацией частиц аэрозоля. Применение метода У. к. рационально, если весовая концентрация частиц не менее 1—2 *г/м³*. С увеличением концентрации аэрозоля эффективность У. к. возрастает.

У. к. аэрозолей можно представить в виде совокупности 3 взаимосвязанных процессов: гидродинамич. силы взаимодействия между частицами, возникающие сразу при наложении звукового поля, сближают их и приводят к образованию агрегатов; частицы и агрегаты под действием давления звукового поля, перемещаясь, создают местные сгущения; развивающиеся акустич. вихревые течения (см. *Звуковой ветер*) выносят образовавшиеся агрегаты и одиночные частицы на стенки коагуляционной камеры. При сближении частиц, в зависимости от расстояния между ними и ориентации частиц относительно направления их колебаний, гидродинамич. сближающие силы сменяются также гидродинамическими силами отталкивания. Участие *давления звукового поля* на частицы в процессе коагуляции становится особенно значительным на высоких частотах порядка десятков *кгц* и выше.

У. к. гидрозолей обусловлена аналогичными процессами, протекающими в условиях жидкой дисперсионной среды и более высоких частот озвучивания, т. е. в УЗ диапазоне. Скорость У. к. гидрозолей в основном также определяется интенсивностью звука (УЗ), однако она осложняется одновременными процессами противоположного направления — *ультразвуковым диспергированием* и *ультразвуковым эмульгированием*, вызываемыми *кавитацией ультразвуковой*. У. к. гидрозолей практически применяется для очистки жидкостей в химич. и пищевой пром-сти, напр. при обработке вина.

См. также *Дегазация ультразвуковая*.

Лит.: Б е р г м а н Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., 2 изд., М., 1957; К р о у ф о р д А. Э., Ультразвуковая техника, пер. с англ., М., 1958; N e u m a n n E. P., N o r t o n J. L., Application of sonic energy to commercial aerosol collection problems. Ultrasonics. Two symposia, «Chem. Engng. Progr. Sympos. Series», 1951, v.

47, № 1, p. 4—10; Буравов Л. И., Экнадиосянц О. К., О поведении частиц аэрозоля в акустическом поле, «АЖ», 1961, т. 7, вып. 4, с. 492—493.
О. К. Экнадиосянц.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ КРИСТАЛЛИЗАЦИЯ (ultrasonic crystallization; cristallisation ultrasonique; Ultraschallkristallisation) — зарождение и рост кристаллич. фазы в объеме (слое) переохлажденного расплава (раствора) под действием УЗ. Влияние УЗ состоит в том, что в расплаве в присутствии кристаллич. затравки образуется значительно большее количество центров кристаллизации, чем в естеств. условиях. Это позволяет «сдвигать» максимум центров кристаллизации на таммановской кривой из его обычного положения при данной темп-ре и получать вещество с зерном различной величины. Новые центры кристаллизации появляются в расплаве в результате отпочковывания от границы фаз мельчайших кристалликов. Самопроизвольное зарождение центров кристаллизации в УЗ поле пока нельзя считать доказанным. Кристаллики в переохлажденном расплаве в поле УЗ совершают колебат. движение, растут и коагулируют. Вопреки тенденции к уменьшению общей поверхности кристаллов, являющейся следствием процессов кристаллизации и коагуляции, поверхность кристаллов значительно увеличивается под действием происходящего *ультразвукового диспергирования* вещества: при больших интенсивностях (до 10 *вт/см*²) рост твердой фазы в объеме ускоряется в сотни раз. Твердая фаза имеет две стадии: в первой происходит образование большого количества новых центров кристаллизации, во второй — их сращивание. Эксперимент. кривые показывают, что при определ. интенсивности УЗ скорость кристаллизации перестает увеличиваться, т. к. выделение большого количества теплоты кристаллизации замедляет процесс образования новых центров, а следовательно, и их дальнейшее диспергирование. Вместе с тем существует нек-рый минимум интенсивности УЗ, ниже к-рого У. к. не наблюдается. У. к. возникает при частотах весьма широкого диапазона (от сотен *гц* до неск. *Мгц*) и наблюдается как в органич. веществах, так и в металлах. Однако единого мнения о роли частоты колебаний при У. к. в наст. время еще нет. У. к. зависит от темп-ры переохлаждения вещества. Напр., для тимола кристаллизация достигает максимума примерно при переохлаждении на 25° С. Более сильное переохлаждение (43—40° С) даже при длительном облучении почти не изменяет У. к. В случае переохлаждения в 5—6° С и менее введение УЗ вызывает сильное диспергирование: в расплаве образуется облако мельчайших кристалликов. В этих условиях оценить процесс У. к. количественно оказывается трудно.

Отличительные признаки структуры вещества, формировавшегося под действием УЗ,— мелкозернистость, однородность, отсутствие газовых пузырей и повышенная прочность; это вызвало промышленное применение У. к. Созданы мощные опытные полупроизводств. установки (до 100 *квт*) для обработки УЗ слитков сталей весом в неск. десятков *кг*. У. к. позволяет в магниевых сплавах увеличить предел прочности, относит. удлинение, изменять деформируемость и пластич. св-ва поликристаллич. структуры. УЗ оказывает также влияние на рост монокристаллов из расплава (раствора), причем в зависимости от заданного переохлаждения, интенсивности и частоты УЗ можно ускорить рост монокристалла или, наоборот, затормозить его, или не оказывать влияния на рост грани. Исследования в этом направлении весьма важны для физики твердого тела, т. к. наряду с ускорением роста кристалл приобретает новые интересные св-ва. Напр., в монокристалле цинка предел упругости под воздействием УЗ оказался увеличенным в 6 раз. Весьма хорошо исследовано влияние УЗ на образование столбчатых кристаллов. Известно, что получаемые слитки имеют иногда крупную столбчатую структуру и с трудом обрабатываются. Применение УЗ либо совершенно устраняет столбчатую зону кристаллов, либо сводит ее к минимуму. Опытные данные показывают, что УЗ ускоряет начало эвтектич. кристаллизации и изменяет форму растущей эвтектики. В облученных слитках сплава алюминия с кремнием структурные составляющие более равномерно распределяются по всему объему. Возрастает предел прочности облученных образцов и относит. удлинение.

Явление У. к. весьма сложно и еще нет теории, способной объяснить все многообразие наблюдаемых фактов. Однако совершенно ясно, что сам физич. механизм обусловлен кавитац. явлениями, действием сил трения, возникающих между кристаллом и расплавом и в меньшей степени — колебаниями кристалла в УЗ поле. Вибрация стенок сосуда и колебания газовых пузырьков также создают условия для образования новых центров кристаллизации. Внедрению У. к. в металлургич. пром-сть мешает отсутствие физич. теории процесса, методов введения УЗ в расплав, разработанной технологии обработки металлов в процессе кристаллизации в больших пром. масштабах.

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., 2 изд., М., 1957; Теумин И. И., Ультразвуковые колебательные системы, М., 1959; Эскин Г. И., Ультразвук в металлургии, М., 1960; Капустин А. П., Влияние ультразвука на кинетику кристаллизации, М., 1962; Hiedemann E., «J. Acoust. Soc. America», 1954, v. 26, № 5, p. 831—42.
А. П. Капустин.

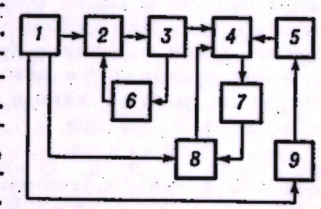
УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОЧИСТКА (ultrasonic cleaning; nettoyage ultrasonique; Ultraschallreinigung) — удаление с поверхности твердых тел пленки загрязнений с помощью УЗ колебаний. Широко применяется в промсти для удаления жировых и механич. загрязнений, протирочных паст, наклеечных смол с поверхности изделий, для снятия лаковых, полимерных и окисных пленок, накипи, нагара, окалины и т. п. Преимущество У. о.— возможность применения щелочных и нейтральных водных растворов с добавкой поверхностно-активных веществ вместо токсичных и взрывоопасных органич. растворителей, а также использование при травлении кислотных растворов слабой концентрации. У. о. связана с явлением *кавитации ультразвуковой*. Под действием ударной волны, образующейся при захлопывании кавитац. пузырьков, происходит разрушение пленок и образование в них трещин. Паро-газовые пузырьки, проникая под край разрушенной пленки, способствуют ее отслаиванию и удалению осколков в раствор.

Эффективность У. о. зависит от амплитуды *звукового давления*. Под влиянием перем. ускорений происходит отрыв частиц загрязнений, слабо связанных с очищаемой поверхностью, увеличивается диффузия раствора в поры вещества и в трещины на поверхности пленок. Образование в жидкости постоянных гидродинамич. потоков (см. *Звуковой ветер*), а также микропотоков вокруг неровностей на озвучиваемой поверхности способствует поступлению свежего раствора к поверхности очищаемых деталей и ускоряет процесс очистки. Эффективность процесса У. о. зависит также от частоты и *интенсивности ультразвука*, физ.-химич. св-в растворов, темп-ры среды и внешнего статич. давления. Рекомендуется производить У. о. на возможно более низких частотах, при к-рых величина кавитац. порога невелика. Повышение частоты вызывает эффект экранировки (появление звуковой тени), препятствующий очистке глубоких отверстий. Совр. аппаратура для У. о. работает на частотах 20—40 *кгц*. При очистке очень мелких деталей от легких загрязнений используются частоты в 500—600 *кгц*. Интенсивность УЗ колебаний при очистке не превышает 1,5—3 *вт/см*². С увеличением интенсивности УЗ колебаний эффективность У. о. возрастает, но лишь до определ. пределов: при больших уровнях интенсивности ослабляются удары. Процесс У. о. существ. образом ускоряется при увеличении статич. давления, при подборе определ. соотношений между удельной акустич. мощностью излучателя (см. *Источник ультразвука*) и внешним статич. давлением в рабочем объеме жидкости.

Выбор моющих растворов зависит от характера загрязнений. Наиболее эффективен для У. о. раствор, обладающий не только химич. действием на загрязнение (растворение, эмульгирование), но и физ.-химич. св-вами, оказывающими влияние на развитие УЗ кавитации. Чем ниже упругость паров и чем больше коэфф. поверхностного натяжения, тем сильнее удары при захлопывании кавитац. пузырьков. Повышение вязкости раствора при одноврем. увеличении интенсивности УЗ колебаний также усиливает кавитац. воздействие. Повышение темп-ры моющего раствора увеличивает его химич. активность. При выборе оптим. темп-ры для У. о. следует учесть, что с повышением темп-ры увеличивается упругость паров в кавитац. пузырьке и ослабляется сила кавитац. ударов. Оптим. темп-ра определяется экспериментально. У. о. стальных деталей от жировых и механич. загрязнений производится в растворах щелочей и синтетич. поверхностно-активных веществ. Широко применяется раствор, содержащий 30 *г/л* тринатрийфосфата и 3 *г/л* ОП-7 или ОП-10 при темп-ре раствора 55—60° С. При У. о. деталей из алюминия, меди и их сплавов используется раствор, состоящий из 3—5 *г/л* кальцинированной соды, 3—5 *г/л* тринатрийфосфата и 3 *г/л* ОП-7 или ОП-10. Оптим. темп-ра раствора 45—55° С. Для У. о. от защитных эмалей, лаковых и полимерных пленок, обладающих повыш. адгезией к поверхности детали, используются органич. растворители (спирт, бензин, ацетон, хлорбензол с этилцеллосольвом и др.). Эти растворители обладают низким значением коэфф. поверхностного натяжения и высокой упругостью пара. Оптим. темп-ра раствора для У. о. 15—20° С.

Наиболее распространенные способы У.о.— метод погружения и контактный метод. При методе погружения очищаемая поверхность детали погружается в ванну с моющим раствором возможно ближе к поверхности излучателя. Для равномерной У. о. мелких деталей загрузочные корзины встряхивают или вращают. Осуществляют циркуляцию и фильтрацию моющего раствора. Уровень моющей жидкости при расположении преобразователей в дне ванны не должен превышать 100—150 *мм*. При У. о. крупногабаритных деталей сложной формы необходимо создавать специализир. УЗ агрегаты. У. о. контактным методом обеспечивает миним. потери акустич. мощности, причем УЗ колебания передаются от преобразователя в моющий раствор, через стенки очищаемой детали. Примеры использования контактного метода — У. о. листов стальной жести перед лужением или внутр. поверхности труб. В первом случае движущийся стальной лист прижимается к диафрагмам преобразователей легким прижимом; во втором — рабочие торцы преобразователей, профилируемые по окружности трубы, прижимаются к наружной поверхности трубы под углом 120° С. Скорость продвижения труб регулируется в зависимости от скорости У. о. Через внутр. полость труб прокачивается моющий раствор.

Существует три способа применения У. о. для удаления окалины с поверхности металлов: серийный преобразователь для агрессивных сред с периодич. заменой выходящих из строя излучателей (применяется для мелкосерийного произ-ва); винипластовая ванна с с травильными растворами для очистки деталей от окалины, вставленная внутрь осн. ванны на нек-ром расстоянии от излучателя, причем УЗ колебания передаются дну ванны или вмонтированной в дно сменной диафрагме через промежуточный слой проточной воды, находящейся под избыточным давлением (этот способ вызывает значит. потери энергии); предварит. химич. травление без воздействия УЗ с последующей У. о. деталей от шлама в воде (способ широко распространен). Проводятся работы по изысканию материалов с повыш. кавитационно-коррозионной стойкостью для изготовления излучателей и преобразователей погружного типа, предназнач. для длит. работы в агрессивных средах.



Блок-схема типовой механизированной установки для ультразвуковой очистки деталей от жировых и механических загрязнений, лаковых и полимерных пленок.

Типовая механизированная установка для У. о. деталей от жировых и механич., лаковых и полимерных пленок (см. рис.) состоит из: пульта управления *1*, генератора ультразвуковой частоты *2*, преобразователя *3*, рабочей и основной ванны для очистки деталей с моющим раствором *4*, приспособления для загрузки-выгрузки деталей *5*, канала обратной акустич. связи *6*, регулятора темп-ры *7*, системы циркуляции раствора *8* и привода вращения деталей *9*. В дно рабочей ванны вмонтировано четыре преобразователя. Предусмотрена циркуляция моющего раствора из рабочей ванны в основную и обратно с одновременным его фильтрованием. Темп-ра раствора поддерживается в заданном интервале с помощью ПП датчика. При нагревании или охлаждении

Основные данные типовых

Технич. хар-ка	Типы			
	УЗВ-15М	УЗВ-16М	УЗВ-17М	УЗВ-18М
Источники питания	УЗГ-2,5М	УЗГ-6	УЗГ-10У	УЗГ-10У
Номин. потребляемая мощность (*квт*)	2,5	5	7,5	10
Рабочая емкость (*л*)	35	80	120	150
Внутр. размеры (*мм*³)	400×400×200	700×450×300	1100×450×300	1400×450×300
Габаритные размеры (*мм*³)	505×525×900	820×580×900	1212×580×900	1512×580×900
Тип преобразователей	ПМС-6М	ПМС-6М	ПМС-6М	ПМС-6М
Количество преобразователей	1	2	3	4
Площадь излучателей (*мм*²)	300×300	300×600	300×900	300×1200
Расход воды для охлаждения преобразователей (*л/мин*)	3	6	9	12
То же ванны (*л/мин*)	6	8	9	10
Расход воздуха в системе вентиляции (*м*³/*ч*)	350	750	950	1300
Вес (*кг*)	110	207	220	235

раствора выше или ниже нормы автоматически включается система подогрева или охлаждения проточной водой. Мелкие детали загружаются в четыре барабана из металлич. сетки, вращающиеся со скоростью 2—3 *об/мин*. В процессе вращения детали непрерывно переворачиваются, постоянно находясь в зоне УЗ воздействия. Конструкция установки позволяет очищать и крупногабаритные детали. Для герметизации дна ванны при креплении преобразователей используются синтетич. материалы, обладающие высокой стойкостью по отношению к органич. растворителям. Управление всеми процессами У. о. производится с пульта управления дистанционно.

УЗ настольная установка типа УНІ-0,4, предназначенная для очистки мелких деталей, состоит из генератора ВЧ, ванночки для очистки и обезжиривания, ванночки для лужения, сварочного пистолета и паяльника. Потребляемая генератором мощность 1 *квт* и он рассчитан на питание от сети напряжением 200 *в*; частота УЗ колебаний 22 *кгц*. Механизированный агрегат УЗА-10 для очистки мелких деталей от жировых и механич. загрязнений состоит из трех ванн, ду́ша, камеры очистки в парах растворителя, камеры сушки и выгрузки деталей (перемещение деталей из одной позиции в другую и их встряхивание производятся автоматически). Существующие типы УЗ ванн и их технич. хар-ки приведены в таблице.

Лит.: Бебчук А. С., Макаров Л. О., Розенберг Л. Д., О механизме кавитационного разрушения поверхностных пленок в звуковом поле, «АЖ», 1956, т. 2, вып. 2; Нейпайрас Е. А., Некоторые вопросы техники ультразвуковой очистки, там же, 1962, т. 8, вып. 1; Агранат Б. А., Башкиров В. И., Китайгородский Ю. И., Способ повышения эффективности воздействия ультразвука на процессы, протекающие в жидкостях, «Ультразвуковая техника», 1964, вып. 3; Матаушек И., Ультразвуковая техника, пер. с нем., М., 1962; Гершгал Д. А., Фридман В. М., Ультразвуковая аппаратура, М.—Л., 1961.

Б. А. Агранат.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ПАЙКА (ultrasonic soldering; soudure ultrasonique; Ultraschallötung) — лужение изделий с предварит. разрушением поверхностной окисной пленки или пленки загрязнения под воздействием УЗ и последующая пайка с флюсом или без флюса.

У. п. осуществляется в спец. лудильных ваннах, снабженных *излучателями ультразвука*, озвучивающими жидкий припой, или с помощью комбинированных УЗ паяльников. Металлич. резервуар лудильной ванны чаще всего укреплен (привинчен, припаян тугоплавким припоем или приварен) на излучающей поверхности. Иногда излучающая поверхность вибратора является дном ванны. Ванна подогревается спец. нагревателем. Под действием УЗ колебаний в расплавл. припое возникает *кавитация ультразвуковая*. В УЗ паяльнике (см. рис.) наконечник *1* нагревается под действием тока обмотки *2* и приводится в колебания с УЗ частотой. Колебат. система УЗ паяльника состоит из закрепленного в узловом сечении полуволнового магнитострикц. излучателя *3* (такие паяльники особенно удобны и могут быть использованы при высоких темп-рах при надлежащей изоляции обмотки), к-рый питается от УЗ генератора *4*. Под действием УЗ колебаний с частотой порядка 20—30 *кгц* у наконечника паяльника в припое *5* образуются кавитац. пузырьки *6*. Развивающееся при их захлопывании давление разрушает пленку окиси *7* (см. *Ультразвуковая очистка*) и при этом обнажается чистая поверхность изделия *8*, к-рая смачивается жидким припоем. Иногда к месту соединения удобнее подводить тепло обычным паяльником, а УЗ колебания — спец. паяльником-вибратором, не имеющим обмотки нагрева.

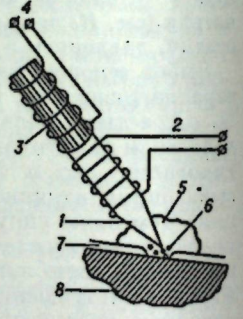


Схема ультразвукового паяльника.

В качестве припоев применяют оловянно-цинковые (80—90% Sn+10—20% Zn), оловянно-кадмиевые (60—65% Sn+35—40% Cd) и оловянно-серебряные (90—95% Sn+5—10% Ag). У. п. подвергаются изделия из керамики, кварца, ферритов, стекла, угля, графита, алюминия, магния, меди и их сплавов; углеродистых сплавов, титана, вольфрама, германия, инвара, тантала, ниобия, молибдена, монокристаллов карборунда и рубина.

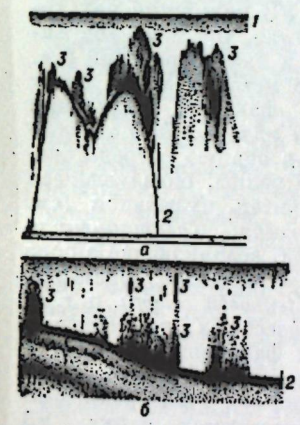
Применение У. п. в 100—200 раз сокращает длительность технологич. цикла, повышает производительность труда (трудоемкость снижается в 6—9 раз на условную единицу), обеспечивает увеличение механич. прочности спая, в 8—10 раз уменьшает себестоимость изделия.

ультразвуковых ванн

ванн		
УЗВМ-2	УЗВТ-1	УЗВТ-2
УЗГ-5, УЗГ-10	УЗГ-2,5М	УЗГ-5, УЗГ-10
5	3,1	5,6
100	50	100
950×420×360	570×520×380	950×420×380
1390×720×1220	970×850×1300	1390×720×1220
ПМС-6М	ПМС-6М	ПМС-6М
2	1	2
300×600	300×300	300×600
6	3	6
8	3	8
750	350	750
530	420	560

Лит.: Матаушек И., Ультразвуковая техника, пер. с нем., М., 1962; Гершгал Д. А., Фридман В. М., Ультразвуковая аппаратура, М.—Л., 1961.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ РЫБНАЯ РАЗВЕДКА, рыболокация (ultrasonic trawling methods; recherche ultrasonique de bancs de poissons; Ultraschallfischortung),— определение местонахождения косяков рыбы путем излучения УЗ импульсов в воду и приема отраженных от подводных препятствий *эхо-сигналов* при помощи гидроакустич. приборов — рыболокаторов горизонтального и вертикального действия. Среда и физич. принципы, используемые в У. р. р., те же, что в гидролокации (см. *Гидролокатор*), но рабочие объекты (отражающие или шумящие) иные — рыбные косяки, представляющие собой совокупность большого количества дискретных рассеивателей к тому же движущихся, сильно флуктуирующих и занимающих значительно бо́льшие объемы, чем объекты гидролокаций — одиночные, ограниченные в размерах твердые цели. Эхо-сигнал суммируется из отражений, создаваемых телами рыб, находящимися в данный момент в пределах рассеивающего слоя протяженностью $c\tau/2$, где c — скорость распространения звука в воде; τ — длительность излучаемого рыболокатором импульса. Интенсивность эхо-сигнала зависит от размера и веса рыб, числа рыб в рассеивающем элементе пространства, от наличия у рыб плавательного пузыря, длительности и частоты излучаемого импульса. В диапазоне частот от 50 до 300 *кгц* коэфф. отражения от рыб с плавательным пузырем меняется соответственно от 12 до 22%, а от рыб, не имеющих плавательного пузыря,— в пределах от 7 до 19%.



Запись вертикального разреза рыбных косяков в толще воды (*а*) и у грунта (*б*), произведенная рыболокатором вертикального действия: *1* — поверхность воды; *2* — рельеф дна; *3* — изображение рыбных косяков.

У. р. р. применяется: для обнаружения скоплений рыбы, наблюдения за перемещением косяков, подготовки отлова, изучения поведения рыбы (вертикальных, горизонтальных, суточных и сезонных миграций) и др. Рыболокаторы снабжаются самописцами или электронными отметчиками, регистрирующими расстояние до косяка и его глубину. Более совершенны рыболокаторы вертикального действия, предназначенные для поиска придонной рыбы и дающие изображение косяка раздельно от грунта (см. рис.).

Лит.: Шишкова Е. В., Физические основы рыболокации, М., 1963; Ажажа В. Г., Шишкова Е. В., Поиск рыбы гидроакустическими приборами, М., 1960.

Е. В. Шишкова.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СИРЕНА (ultrasonic siren; sirène á ultra-sons; Ultraschallsirene) — устройство для создания мощных ультразвуковых и звуковых колебаний в газовых (реже в жидких) средах; работает на принципе механич. модуляции струи газа (обычно воздуха) или жидкости, вытекающих с большой скоростью через отверстия в роторе и статоре, форма к-рых зависит от типа, мощности, назначения и др. особенностей У. с. Напр., ротор *1* и статор *2* (рис. 1, *а*) могут быть выполнены в виде соосных дисков, и вектор скорости воздуха в отверстиях совпадает с осью вращения. В радиальном типе У. с. они могут составлять две коаксиальные цилиндрич. или конич. поверхности, причем в этом случае направление газовой струи не совпадает с осью вращения. Ротор вращается электродвигателем или турбиной, сидящей на одном с ним валу и приводимой в движение тем же сжатым воздухом, к-рый используется для питания У. с. В нек-рых случаях У. с. имеет встроенный центробежный вентилятор или турбокомпрессор и не нуждается в дополнит. источнике сжатого воздуха. Реже применяются типы У. с. с возвратно-поступат. движением заслонки относительно статора (рис. 1, *б*); напр., в электропневматич. У. с. колебат. движение заслонки осуществляется с помощью звуковой катушки, возбуждаемой переменным током требующейся частоты. При прерывании потока газа, вытекающего из отверстий У. с. с частотой f, определяемой числом отверстий в роторе или статоре N и числом оборотов ротора n за 1 сек. (т. к. $f=nN$ *гц*), в среде возникают упругие (акустич.) колебания, амплитуда к-рых зависит от скорости истечения газа, т. е. от перепада давлений в корпусе У. с. и в окружающем пространстве, от формы и размера отверстий и нек-рых др. факторов. Т. к. утечка газа снижает кпд У. с., его конструкция должна обеспечивать во время работы миним. зазор между ротором и статором (0,02—0,05 *мм*); для повышения кпд отверстия в роторе и ста-

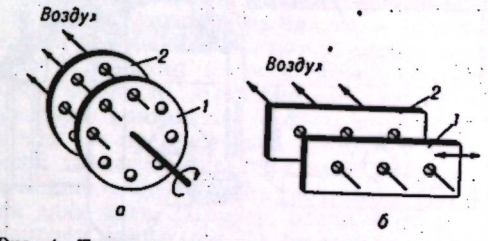


Рис. 1. Типы ультразвуковых сирен: *а* — роторного типа; *б* — с возвратно-поступательным движением заслонки.

торе делаются прямоугольной формы и разных размеров (чтобы получить трапецеидальную форму импульса; в этом случае теоретически возможно получение кпд выше 50%), но при этом существенно увеличивается содержание гармоник в акустич. сигнале. Для согласования У. с. со средой, в к-рую происходит излучение, а также для создания определ. направленности излучателей ее снабжают рупором (обычно экспоненциальной или катеноидальной формы). Уровни звукового давления, создаваемые У. с., достигают 150—160 *дб*. Большинство У. с. работает с выбросом отработавшего воздуха (газа) в окружающее пространство; однако возможны и У. с. обратного действия, в к-рых поток воздуха движется из озвучиваемого пространства в корпус У. с., причем необходимое разрежение в камере низкого давления создается вакуумным насосом или др. устройством. Обычно У. с. наряду со звуковой волной подают в озвучиваемое пространство и отработанный

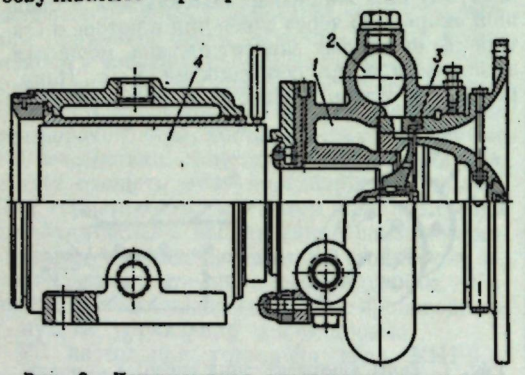


Рис. 2. Двухкамерная ультразвуковая сирена.

воздух. В технологич. процессах, для к-рых присутствие избыточного воздуха нежелательно, используются двухкамерные конструкции, напр. типа УЗГ-7Г (рис. 2), в к-ром напротив ряду с камерой высокого давления *1* имеется и камера низкого давления *2*. Работа происходит по замкнутому циклу: сжатый воздух, вышедший через отверстия ротора и статора в один полупериод генерации, во второй полупериод засасывается обратно. Ротор *3*, сидящий на валу ВЧ шпинделя *4*, может работать без выброса воздуха, используя один компрессор. Для этого камера *1* подключается к камере нагнетания компрессора, а камера *2* — к камере всасывания. У. с. используются гл. обр. для технологич. целей, позволяя интенсифицировать нек-рые процессы, протекающие в газовой среде: коагуляцию туманов и аэрозолей, тепло- и массообмен, управление процессами горения и др. Технич. данные зарубежных и отечественных У. с. представлены в таблице.

УЗ сирена		Диаметр ротора (*мм*)	Форма отверстий	Число отверстий	Макс. частота (*кгц*)	Рабочее давление (*атм*)
марка	тип					
SU-1 (Франция)	Осевая	170	Статор-круглые, ротор-прямоугольные	110	27	0,2—3
SU-2 (Франция)	Радиальная	138	Прямоугольные	—	50	2
U-4 (США)	Осевая	—	—	—	200	0,5
Allen, Rudnick (США)	»	150	Ротор-прямоугольные, статор-круглые	100	34	0,2—2
Macrosonic Corp I (США)	»	—	—	100	23	до 3,5
R_{01} (Польша)		215	Круглые	240	36	0,3
УЗГ-4А (СССР)	»	200	Прямоугольные	288	45	до 5
УЗГ-5 (СССР)	»	370	»	1080	324	»
УЗГ-7Г (СССР)	»	75	»	90	72	»

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., 2 изд., М., 1957; Веллер В. А., Степанов В. И., Ультразвуковые сирены с приводом от электродвигателя, «АЖ», 1963, т. 9, вып. 3; Hueter R. M., Bolt R. H., Sonics, N. Y., 1955.

Ю. Я. Борисов.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТЕХНОЛОГИЯ (ultrasonic technology; technologie ultrasonique; Ultraschalltechnologie) — совокупность технологич. процессов и методов обработки материалов, основанных на использовании воздействия интенсивных УЗ колебаний как непосредственно на вещество, так и на ход физико-химич. процессов и химич. реакций (см. *Ультразвук*). В основе методов У. т. лежат разнообразные физич. факторы, связанные гл. обр. с *нелинейными эффектами в акустическом поле*, из к-рых в первую очередь следует отметить ударные волны, образующиеся при захлопывании кавитац. пузырьков (см. *Кавитация ультразвуковая*, *Кавитационная эрозия*), акустич. потоки, возникающие в поле интенсивных УЗ и определяющие перемешивающее действие (см. *Звуковой ветер*), и т. д.

В большинстве процессов У. т. участвует множество физических факторов, но в таких процессах, как *ультразвуковая очистка*, *ультразвуковое диспергирование*, *ультразвуковое эмульгирование*, *ультразвуковая пайка*, УЗ травление, гл. роль принадлежит кавитации. Осн. фактором, определяющим *сушку ультразвуковую*, *ультразвуковую коагуляцию* (см. *Газоочистка звуковая*), ускорение диффузии, экстрагирования и пропитки, предотвращение осаждения накипи и образование инкрустации, являются, по-видимому, акустич. потоки. *Ультразвуковое резание* основано на выкалывании микрочастиц обрабатываемого материала зернами абразива, по к-рым ударяет колеблющийся с УЗ частотой профилированный или фасонный инструмент. При *ультразвуковой кристаллизации* существенную роль играют как кавитация, так и перемешивание. Физич. сущность процесса УЗ сварки еще нельзя считать установленной. Активизация химич. процессов определяется неск. факторами: возникновением активных радикалов, образующихся в кавитац. полостях; диспергированием реагирующих компонент, приводящим к увеличению активной поверхности, глубоким и интенсивным перемешиванием, вызываемым УЗ потоками. Несмотря на потенц. перспективы, химич. воздействие УЗ не получило еще сколько-нибудь заметного практич. применения, гл. обр. вследствие очень малого полезного выхода.

Осн. преимущества У. т.: 1) возможность решения технологич. задач, не решаемых или трудно решаемых др. способами. Такими технологич. процессами являются размерная обработка твердых и хрупких материалов, сварка разнородных материалов (напр., германия и золота), сварка металлич. деталей, резко различающихся по своим характерным размерам (напр., приварка фольги или микропроволоки к массивным деталям); пайка и лужение алюминия, керамики и стекла; получение сплавов из компонент, различающихся темп-рами плавления и уд. в.; низкотемпературная сушка и т. д.; 2) возможность улучшения технич. или технико-экономич. показателей по сравнению с результатами, имеющими место при применении методов обычной технологии (при очистке, обезжиривании и травлении поверхностей, особенно деталей сложной формы), получении мелкодисперсных суспензий и монодисперсных эмульсий и аэрозолей, улучшении кристаллич. структуры металлич. отливок и др.

Наиболее существ. недостатки методов У. т.— нек-рая сложность оборудования и дороговизна УЗ энергии, определяющаяся типами применяемых *излучателей ультразвука*. Наиболее экономичны из них *ультразвуковой свисток* и *ультразвуковая сирена* при излучении в газовые среды и *гидродинамический излучатель ультразвука* (при излучении в жидкости). Однако последние позволяют получить лишь сравнительно небольшие УЗ мощности и интенсивности и поэтому практически применяются лишь для получения эмульсии и для гомогенизации. Для всех остальных процессов У. т., протекающих в жидкостях, а также процессов, распространяющихся на твердые тела (резание, сварка), применяют менее экономичные электромеханические, гл. обр. магнитострикц. и пьезоэлектрич., излучатели. В этом случае экономичность установки определяется не только кпд излучателя, но и кпд электрич. генератора, питающего этот излучатель. Здесь *ультразвуковой генератор машинный* имеет преимущество перед *ультразвуковым ламповым генератором*, хотя в др. отношениях последний значительно более гибок и удобен. На экономичности процесса сказывается также согласование излучателя с рабочей средой, играющей роль акустич. нагрузки; для этой цели применяется спец. *волновод ультразвуковой*, являющийся своеобразным механич. тр-ром. Иногда более выгодно вместо обычных излучателей применять *фокусирующие ультразвуковые излучатели* или иные *фокусирующие акустические системы*.

Лит.: Применение ультразвука в промышленности. Сб. ст., М., 1959; Матаушек И., Ультразвуковая техника, пер. с нем., М., 1962; Гершгал Д. А., Фридман В. М., Ультразвуковая аппаратура, М.—Л., 1961; Силин Л. Л., Баландин Г. Ф., Коган М. Г., Ультразвуковая сварка, М., 1962; Медников Е. П., Акустическая коагуляция и осаждение аэрозолей, М., 1963; Розенберг Л. Д. [и др.], Ультразвуковое резание, М., 1962.

Л. Д. Розенберг.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ТОЛЩИНОМЕТРИЯ (ultrasonic thickness gauging; appareil ultrasonore pour mesurer l'épaisseur; Ultraschalt-dickenmessung) — метод *ультразвукового контроля* толщин листов или стенок изделий, основанный на явлении отражения УЗ колебаний от границы между твердым телом и воздухом. Отличается независимостью от неоднородности магнитной структуры материала изделия и высокой точностью измерения как малых, так и больших величин; допускает измерения при одностороннем доступе к изделию и использование в автоматич. линиях.

Импульсный метод У.т. применяется для измерения сравнительно больших толщин. Аналогичен методу *ультразвуковой дефектоскопии*: толщина изделия определяется по времени распространения УЗ импульса от одной стенки изделия до другой и обратно. От конечной длительности импульса зависит минимально доступная измерению толщина стенок изделий. В пром. импульсных УЗ эхо-дефектоскопах мертвая зона составляет 3—7 *мм* (по стали), при этом точность измерений указанных толщин не превышает 10%. Измеряют также период многократных отражений УЗ импульса в контролируемом слое. При этом нижняя граница толщин, доступных измерению, составляет ок. 2 *мм* (по стали), а точность измерения малых толщин — 3—5%. Применение иммерсионного варианта этого метода позволяет вести контроль толщины движущихся изделий непосредственно в процессе произ-ва.

Резонансный метод основан на регистрации явления резонанса в системе, состоящей из пьезоэлектрич. преобразователя, стенки изделия и переходного контактного слоя жидкости. Метод разработан в двух вариантах: контактном (при толщине слоя жидкости, не превышающей длины УЗ волны во всем диапазоне частот) и иммерсионном (при толщине слоя жидкости, составляющей десятки длин волн). Прибор, основанный на резонансном методе (рис. 1), состоит из генератора электрич. колебаний ВЧ *1* с частотой, изменяющейся под действием напряжения, вырабатываемого блоком модуляции частоты *2*, и электромеханич. системы, образуемой пьезопреобразователем *3*, слоем жидкости *4* и участком одной из параллельных стенок изделия. Увеличение потерь энергии в этой системе в момент совпадения изменяющейся частоты колебаний генератора *1* с одной из резонансных частот стенки изделия *5* приводит к увеличению анодного тока в цепи генераторной лампы, импульс к-рого после усилителя *6* и детектора *7* поступает на электронолучевую трубку *8* вместе с напряжением блока формирования развертки *9*, синхронизированным с работой блока модуляции. Блок меток *10* служит для точного измерения частоты резонансов, к-рые возникают при толщине стенки изделия (в контактном варианте) или высоте столба жидкости (в иммерсионном варианте), равных целому числу длин полуволн, причем в иммерсионном варианте амплитуда резонансов столба жидкости промодулирована частотой следования резонансов в стенке изделия. Точность метода может достигать десятых долей процента при измерении как малых (десятые доли *мм* по стали), так и больших (десятки *мм* по стали) толщин и возрастает с увеличением столба жидкости.

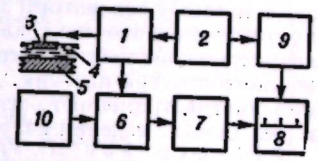


Рис. 1.

Импульсно-резонансный метод основан на зависимости коэфф. отражения

УЗ импульса от толщины слоя и длины УЗ волны в его материале. Чтобы избежать возникновения стоячих волн в слое контактной жидкости, используют импульсы с малой длительностью. Однако длительность импульса должна значительно превышать время, необходимое для распространения импульса от одной стенки изделия до другой и обратно. При изменении частоты коэфф. отражения УЗ от стенки изделия также изменяется и принимает экстремальные значения при возбуждении волн Лэмба в стенке изделия. Прибор У. т., работающий по импульсно-резонансному методу (рис. 2), состоит из генератора *1*, вырабатывающего импульсы квазисинусоидального напряжения изменяющейся частоты, пьезопреобразователя *2*, ванны, наполненной контактной жидкостью *3*, и контролируемого изделия *4*.

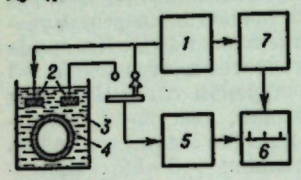


Рис. 2.

Ультразвуковой импульс распространяется в направлении поверхности трубы, отражается от ее стенки, поступает на тот же или другой преобразователь соответственно одно- или двухщуповому варианту схемы прибора. Электрич. сигнал с преобразователя усиливается усилителем *5* и после детектирования регистрируется электронолучевой трубкой *6*, снабженной блоком развертки *7*. Измеряя частоты, при к-рых в стенке изделия возникают резонансные явления, по дисперсионным кривым волн Лэмба для материала данного изделия можно определить толщину его стенки. Используются также генераторы прямоугольных импульсов широкого спектрального состава с последующим анализом спектра импульса, отраженного стенкой изделия. Для целей измерения иногда применяют регистрацию частот, на к-рых стенки изделия излучают волны Лэмба.

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., 2 изд., М., 1957; Матаушек И., Ультразвуковая техника, пер. с нем., М., 1962; Дефектоскопия металлов. Сб. ст., под ред. Д. С. Шрайбера, М., 1959; Harris R. V., «Ultrasonic News», 1962, v. 6, № 1; Frederick C. L., Worlton D. C., «Nondestruct. Testing», 1962, v. 20, № 1.

А. С. Матвеев.

УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ ИЗМЕРИТЕЛЬ [ultrasonic pressure measuring device; apparei de mesure de la pression ultrasonique (manomètre ultrasonique); Ultraschalldruckmesser] — устройство для определения величины и формы *звукового давления*, образованного УЗ колебаниями. Используется для научных и производств. целей разнообразного характера, требующих устройства У. д. и. самых различных размеров — от миниатюрных с диаметром чувствит. элемента 0,1 *мм* до гигантских в неск. *м*. По назначению У. д. и. делятся на резонансные, предназначенные для работы в узкой полосе частот в окрестности частоты резонанса, и широкополосные, для работы в широкой полосе частот, расположенной, как правило, вне резонанса. По способу измерения делятся на ненаправленные, способные принимать УЗ колебания со всех сторон с одинаковой чувствительностью (применяются для исследования УЗ полей, используемых в технологич. процессах), и направленные, чувствительность к-рых по различным направлениям неодинакова (применяются в качестве приемников сигналов в устройствах акустич. связи при наличии помех высокого уровня).

У. д. и. состоит из чувствит. элемента (преобразующего измеряемое УЗ давление в электрич. напряжение), усилителя и индикатора. В зависимости от устройства чувствит. элемента различают пьезоэлектрич., магнитострикционные, электростатич. и электродинамич. У. д. и. Чувствит. элемент характеризуется чувствительностью, к-рая определяется отношением V/P, где P — измеряемое УЗ давление, V — электрич. напряжение на выходе чувствит. элемента, обусловленное УЗ давлением, и измеряется в *мкв/бар* или *мкв·м²/н*. Чувствительность У. д. и., основанных на пьезоэлектрич. и электростатич. принципах, не зависит от частоты УЗ колебаний в дорезонансной области частот. Чувствительность У. д. и., основанных на магнитострикц. и электродинамич. принципах, зависит от частоты во всем рабочем диапазоне частот. В качестве индикатора используется стрелочный прибор с градуировкой, выполненной в значениях УЗ давления, осциллограф или самописец, позволяющие не только измерять величину, но и наблюдать форму УЗ давления.

У. д. и. самого распространенного типа АЗ-3 (рис. 1) предназначается для работы в воздухе и в различных неактивных жидкостях; снабжен чувствит. элементом, выполненным в виде тонкостенной сферы из керамики титаната бария


Рис. 1.

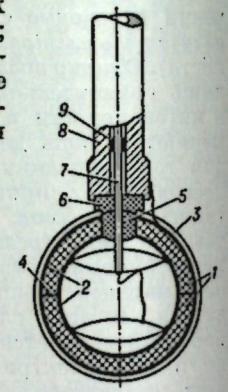


Рис. 2.

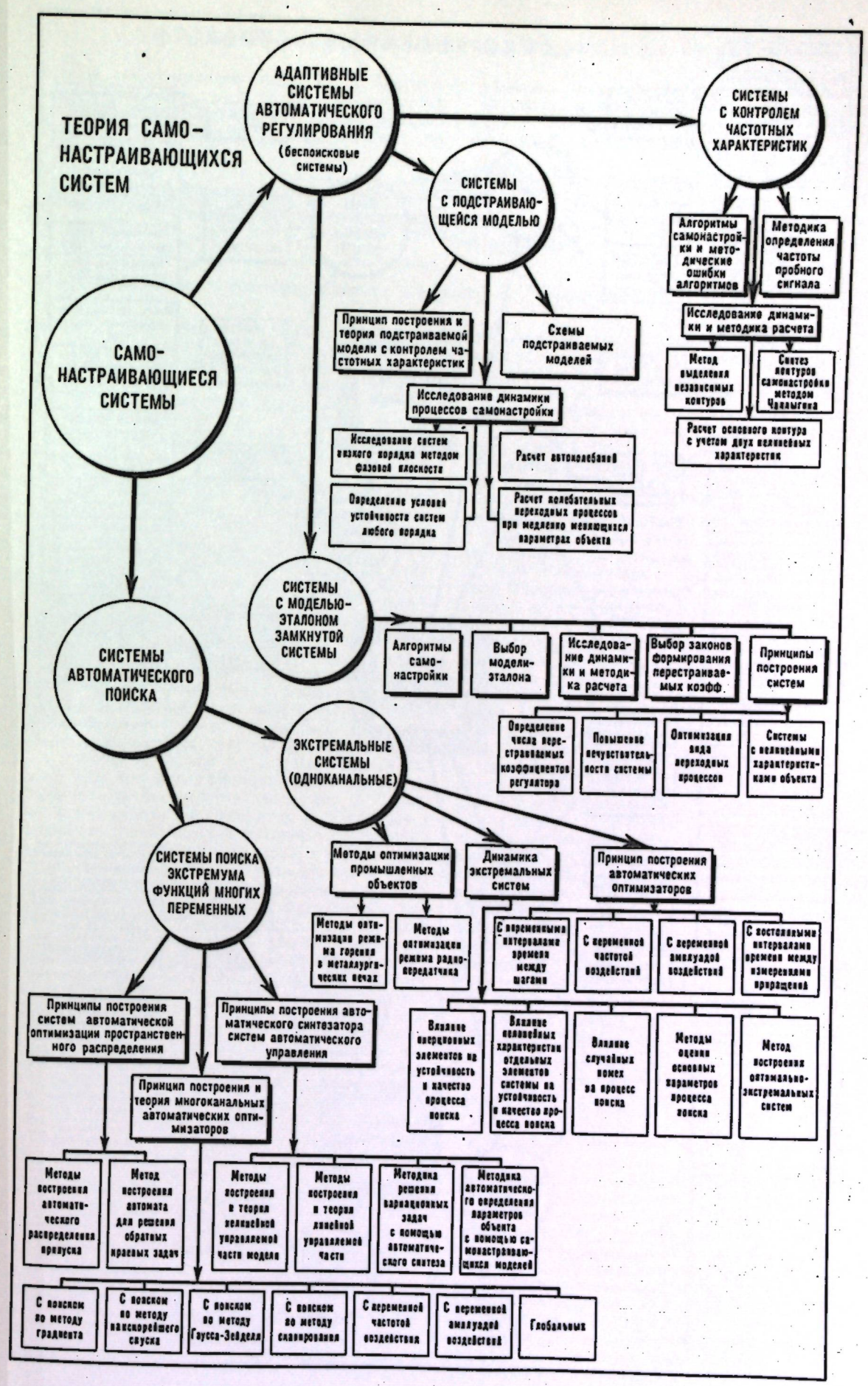
Рис. 1. Акустический зонд АЗ-3.

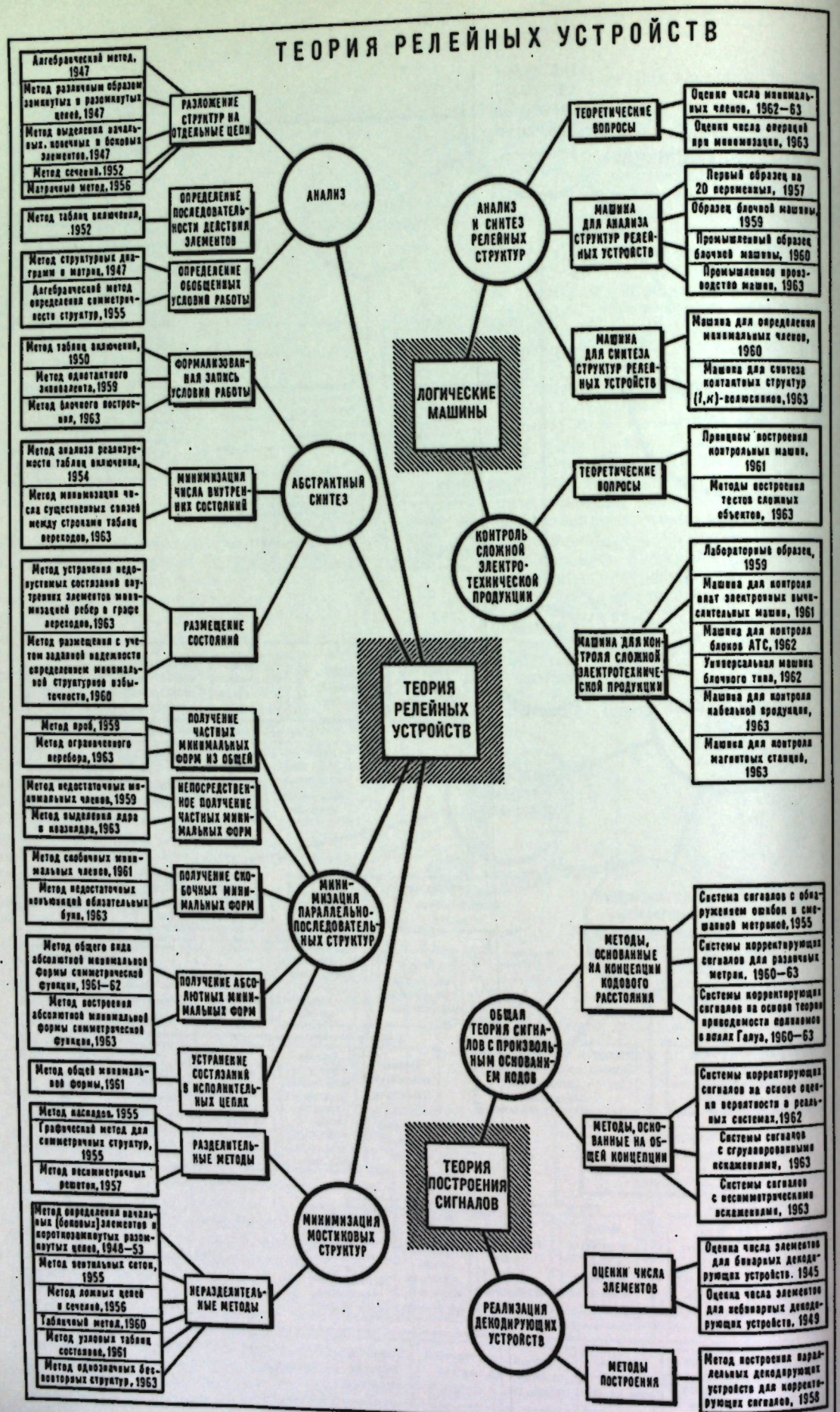
Рис. 2. Схема крепления малого сферического чувствительного элемента на держателе: *1* — керамич. пьезоэлемент; *2* — металлич. покрытие; *3* — внешнее покрытие стеклоэмалью; *4* — сварка стеклом шва; *5* — стеклянный проходной изолятор; *6* — резиновый развязывающий элемент; *7* — стержневой вывод от внутреннего электрода; *8* — трубка держателя; *9* — изоляционные втулки.

(рис. 2), параметры которой даны в таблице.

Диаметр сферы (*мм*)	Чувствительность (*мкв/бар*)	Емкость (*пф*)	Толщина стенки (*мм*)	Рабочий диапазон частот (*кгц*)	
				в воздухе	в воде
15	2,5—3,5	$6\cdot10^3$—$1\cdot10^4$	1	0,5—5,0	0,5—20,0
10	1,3—2,1	$2\cdot10^3$—$3{,}7\cdot10^3$	0,8	2,0—10,0	2,0—40,0
5	0,4—1,0	$6{,}5\cdot10^2$—$9\cdot10^2$	0,6	6,0—20,0	6,0—80,0

С помощью АЗ-3 может быть измерено давление в воздухе от 100 *бар* до 10^5 *бар*, в воде от 100 *бар* до значений давления, при к-рых наступает кавитация. Для измерения УЗ давления в режиме кавитации предназначен





У. д. и. волноводного типа (рис. 3). В измеряемое поле вводится конец волновода, на к-ром укреплен цилиндр из пьезокерамики. Электрич. напряжение с пьезоэлемента по

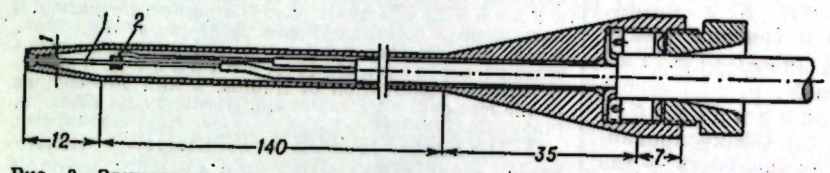


Рис. 3. Звукоприемник волноводного типа: *1* — волновод; *2* — пьезоэлемент.

кабелю РД-13 поступает на вход усилителя и далее на индикатор. Чувствительность У. д. и. с таким элементом практически не зависит от частоты в диапазоне частот 20 *кгц*—200 *кгц* и составляет единицы *мкв/бар*.

Лит.: Харкевич А. А., Теория преобразователей, М.—Л., 1949; Ананьева А. А., Керамические приемники звука, М., 1963; Контрольно-измерительные ультразвуковые приборы. [Сб. докладов], М., 1960.

Е. В. Романенко.

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ДИСПЕРГИРОВАНИЕ [ultrasonic dispersion; dispersion (dispersement) ultrasonique; Ultraschalldispersion] — переход твердой фазы в дисперсное состояние с образованием суспензии с высокой однородностью частиц, совершаемый под действием УЗ колебаний. У. д. может осуществляться: а) в результате *кавитационной эрозии* поверхности твердого тела; б) при разрушении ультразвуком агрегатов твердых частиц, связанных между собой силами слипания, спекания, спайности с различной степенью взаимодействия; в) при *ультразвуковом резании* твердого тела суспензией абразива. Механизм перехода твердой фазы в дисперсное состояние связан с разрушающим действием ударных волн, возникающих при захлопывании кавитационных полостей. В случае же дезагрегации агломератов и УЗ резания существенным является взаимное соударение агрегатов или частиц абразива с обрабатываемой поверхности. Для начала процесса У. д. необходимо определенное пороговое значение интенсивности ультразвука, определяемое кавитац. прочностью жидкости, используемой в качестве дисперсионной среды и характером и величиной сил взаимодействия между отдельными частицами твердой фазы и твердой фазы с жидкостью. С ростом интенсивности УЗ скорость процесса У. д. возрастает; при этом она существенно зависит от характера и величины сил взаимодействия между отдельными частицами: возрастает с увеличением хрупкости и уменьшением твердости и спайности частиц диспергируемого материала, а также при обработке кристаллич. материалов с дефектами поверхности и посторонними включениями. Наиболее успешно проявляется действие УЗ при диспергировании аморфных и агрегированных веществ, при расщеплении материалов типа целлюлозы, стеклян. шерсти, асбеста, при действии на растит. и животные клетки. Сравнительно легко диспергируют каолин, гипс, слюда, сера, графит и др.; труднее — чистые металлы. Подвергая диспергированию металлич. осадки, выделенные путем электролиза или химич. действия, можно существенно облегчить получение суспензии почти всех металлов, допускающих электролитич. или химич. осаждение. При этом катод выполняется из материала некорродируемого и плохо воспринимающего гальванич. покрытия (нержавеющая сталь, тантал, сплав хрома с марганцем и в отдельных случаях алюминий). При получении металлич. суспензий оптим. вариантом является возможность ввода интенсивных УЗ колебаний в жидкость или расплав с помощью *волновода ультразвукового*, выполненного из диспергируемого материала. При диспергировании осадка, полученного путем электролиза, волновод служит катодом. Степень дисперсности суспензии увеличивается в основном с ростом интенсивности, частоты и длительности воздействия УЗ колебаний на систему. Существуют оптим. частоты, соответствующие наиболее высокой степени дисперсности суспензии того или др. материала. Напр., получение макс. дисперсности (10^{-4} *мм*) при диспергировании сульфата бария возможно на частотах 960—1600 *кгц*, для каолина — 960 *кгц*, монтмориллонита — 320 *кгц*. При длит. обработке и высоких значениях интенсивности УЗ могут быть получены суспензии вплоть до истинных коллоидных растворов. У. д. широко используется в лабораторной практике (получение суспензий, коллоидных растворов, дезагрегация, получение препаратов для оптич. и электронной микроскопии, подготовка образцов при анализе почвы и др.) и в ряде технологич. процессов в химич. и фармацевтич. пром-сти (получение катализаторов, золей, диспергирование инсектицидов, дезагрегация и пр.), в электровакуумной пром-сти (получение высокодисперсных суспензий солей тяжелых металлов, люминофоров и др.), в текстильной, лакокрасочной пром-сти (диспергирование нерастворимых красителей и др.) и в др. отраслях. У. д. проводят в основном в системах проточного типа с использованием на низких УЗ частотах цилиндрич. *магнитострикционных преобразователей* (или обычных — пакетного типа с волноводами), а на высоких УЗ частотах — *фокусирующих ультразвуковых излучателей*. Общая мощность таких установок доходит до 150—200 *квт*. Эффективность У. д. растет по мере улучшения кид УЗ преобразователей и в конечном счете зависит от успехов в исследовании физич. сущности процесса.

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., 2 изд., М., 1957; Гершгал Д. А., Фридман В. М., Ультразвуковая аппаратура, М.—Л., 1961; Claus B., Schmidt E., «Kolloid Beihefte», 1936, Bd 45, S. 41; Esche R., Wenk P., «Elektrotechn. Z.», 1960, B. 12, H. 5, S. 97—104.

С. А. Недужий.

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ РАСПЫЛЕНИЕ, ультразвуковое туманообразование (ultrasonic atomization; pulvérisation ultrasonic des liquides; Ultraschallverneblung), — *ультразвуковое диспергирование* жидкостей в газовой фазе, в результате которого образуется аэрозоль. Основные хар-ки У. р.— дисперсный состав образующегося аэрозоля и производительность У. р., к-рая выражается количеством жидкости в *г*, переходящей в аэрозоль за 1 сек., и зависит как от мощности УЗ, так и от физико-химич. св-в распыляемых жидкостей: коэфф. динамич. вязкости η, давления насыщающих паров p и поверхностного натяжения σ. С повышением темп-ры жидкости производительность У. р.

значительно возрастает. Дисперсный состав аэрозоля в основном зависит от частоты УЗ, причем диаметр d наиболее часто встречающихся капелек аэрозоля, частота УЗ f, плотность распыляемой жидкости ϱ и коэфф. поверхностного натяжения σ связаны между собой след. ф-лой: $d=0{,}34\ (8\pi\sigma/\varrho f^2)^{1/3}$. Различают несколько способов У. р.

а) Распыление жидкостей в УЗ фонтане (ВЧ У. р.). Сфокусированный на поверхность раздела жидкость — газ (в мегагерцевом диапазоне частот) УЗ пучок вызывает образование УЗ фонтана, появление к-рого сопровождается интенсивным диспергированием жидкости и образованием тонкого и стойкого монодисперсного тумана. Основной причиной образования тумана является возникновение *кавитации ультразвуковой* у поверхности распыляемой жидкости. Изменяя частоту и мощность УЗ, можно получать однородный туман высокой плотности с рассчитанным диапазоном диаметров капелек и с контроли-



Рис. 1. Распределение капель аэрозоля по величинам их диаметров для водного 5%-ного раствора поваренной соли при ультразвуковом распылении с частотой 2,5 *Мгц*.

руемыми количествами растворенных веществ (напр., лекарственных) в аэрозоле (рис. 1). Производительность У. р. жидкостей в УЗ фонтане невысока: от единиц до десятков $г$ в 1 сек. Этот способ У. р. применяется в ингаляторах и в увлажнителях кондиционирующих устройств.

б) Распыление тонких слоев жидкости с поверхности УЗ излучателя (НЧ У. р.). Образование капель аэрозоля при таком способе У. р. происходит в результате отрыва верхушек гребней стоячих волн на поверхности жидкости при больших амплитудах колебаний. К магнитострикц. преобразователю *1* (рис. 2) крепится конусообразный концентратор *2* (см. *Волновод ультразвуковой*), рассчитанный таким образом, чтобы в рабочей зоне У. р. (внешняя часть конуса *3*) амплитуда *колебательной скорости* поверхности была максимальной. Для получения однородного и плотного аэрозоля необходимо сохранять в зоне У. р. пленку жидкости постоянной на данной частоте толщины. Производительность этого способа У. р. на неск. порядков выше производительности У. р. в УЗ фонтане, но образующийся аэрозоль является более грубым и обладает полидисперсным составом. НЧ УЗ распылители могут быть использованы в химич., нефтеперерабатывающей, фармацевтич. пром-сти (напр., в распылит. сушилках, для *газоочистки звуковой*, в скрубберах и др.), в порошковой металлургии (для получения металлич. порошка из расплавленных металлов), для карбюрации жидкого топлива.

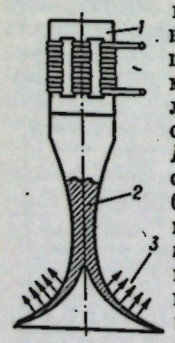


Рис. 2. Низкочастотный УЗ распылитель.

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., 2 изд., М., 1957; Экнадиосянц О. К., Использование ультразвука для получения аэрозолей, в кн.: Применение ультразвука в химико-технологических процессах. Сборник докладов, М., 1960; Гершензон З. Л., Экнадиосянц О. К., О природе распыления жидкостей в ультразвуковом фонтане, «АЖ», 1964, т. 10, вып. 2; Матаушек И., Ультразвуковая техника, пер. с нем., М., 1962; Antonevich J. N., Ultrasonic atomization of liquids, в кн.: Proceedings of the National Electronics conference, v. 13, Chicago, [1958], p. 798—807. *О. К. Экнадиосянц.*

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ РЕЗАНИЕ (ultrasonic machining, ultrasonic cutting; usinage ultrasonore; Ulltraschallbearbeitung, Stossläppen mit Ulltraschallfrequenz) — ударно-абразивный метод размерной обработки твердых и хрупких материалов. У. р. материалов (табл. 1) производится инструментом из ста-

Табл. 1. Скорость УЗ обработки и износ инструмента для различных материалов

Материал	Скорость обработки по отношению к скорости обработки стекла (%)	Износ инструмента по отношению к глубине отверстия (%)
Стекло	100	0,9—1,0
Германий	90	0,5
Ферриты	75	0,5
Кварц	50	2,0
Кремний	40	1,0
Керамика	25	2,9
Рубин	4	50
Твердые сплавы	2,5—3,5	60—80

ли, колеблющимся с частотой 18—22 *кгц* и амплитудой 20—60 *мк* при постоянном прижиме (силе подачи) 1—5 *кг/см²*. Под торец инструмента подается водная суспензия абразивного порошка (карбид бора, корунд, алмаз и др., 25—55% по весу). Зерна абразива, вбиваемые инструментом в заготовку, скалывают материал мелкими частицами, к-рые вместе с размельченным абразивом уносятся жидкостью. Зернистость абразива определяет точность и чистоту обработки (табл. 2). Ско-

Табл. 2. Точность и чистота обработки сквозных отверстий в твердых сплавах*

Зерно абразива по ГОСТ 3647—59	Точность (мк)	Конусность	Чистота поверхности	
			боковой	торцовый
10	±40	3°	∇5	∇7
5	±20	1°45′	∇6	∇8
3	±10	1°15′	∇7	∇9
М14	± 7	50′	∇8	∇10

* При обработке глухих отверстий точность ниже вдвое, при обработке стекла чистота ниже на 1—2 класса.

рость обработки (0,1 *мм/мин* для твердого сплава и 6 *мм/мин* для стекла) зависит от материала изделия, рода абразива, величины его зерен и содержания в суспензии, амплитуды колебаний и силы подачи. Наибольшая глубина обработки 2—5 поперечников инструмента; отсос или подача суспензии увеличивает скорость в 5—8 раз и глубину. Поперечник обрабатываемой поверхности — 0,15—100 *мм*.

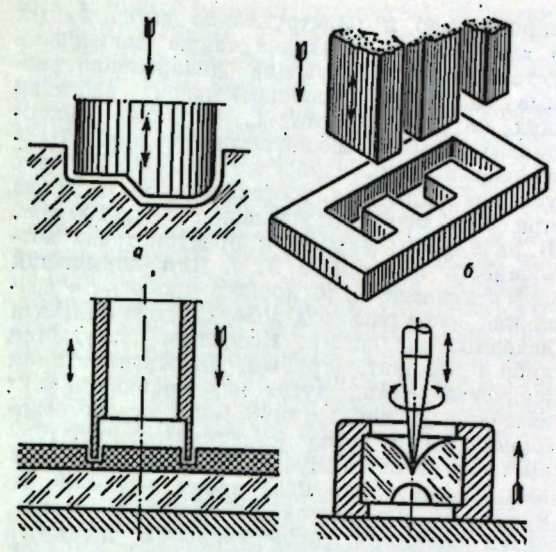


Рис. 1. Ультразвуковое долбление: *а* и *б* — обработка фасонных полостей и отверстий; *в* — вырезание заготовки; *г* — сверление алмазной волоки.

Особенности У. р.: пригодность для обработки сверхтвердых материалов, высокие точность и чистота, легкость выполнения фасонной обработки, отсутствие механич. и термич. воздействий, малая сила реза-

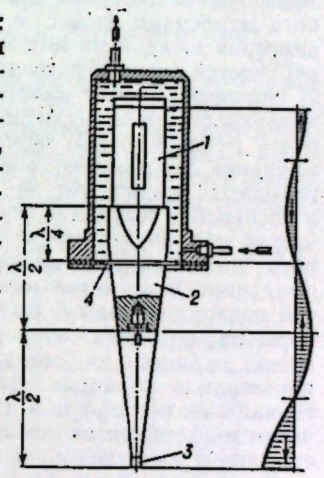


Рис. 2. Устройство головки УЗ станка: *1* — магнитострикционный вибратор; *2* — волновод; *3* — инструмент; *4* — опорный фланец. Справа — диаграмма смещений.

Табл. 3

Операция	Производительность	Стойкость инструмента	Экономия (тыс. руб.) в год
Вырезание заготовок Ø 2 *мм* из германия	35—60 тыс. за смену	3,5—4 часа	50
Сверление алмазных волок	1—2 волока за смену, точность 5—10 *мк*, рост производительности труда в 2—4 раза		7,9; производств. площадь уменьшается в 2—4 раза
Гравирование поверхностное	3—8 сек. на отпечаток	300 деталей	
Гравирование объемное	от 15 мин. до 2,5 часа на отпечаток Ø 30—100 *мм* глубиной 0,5—5 *мм*	3—25 деталей	7,3 при обработке самоцветов
Изготовление матриц	1,5—2 часа на матрицу	1—10 изделий	3,0

ния. Из всех возможных видов У. р. шире всего распространено УЗ долбление (рис. 1). У. р. применяется для вырезания заготовок, изготовления деталей из ферритов, сверления алмазных волок, гравирования, клеймения, изготовления матриц, штампов и волок из твердых сплавов (табл. 3).

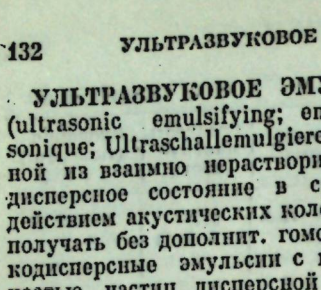
Основные расходы при эксплуатации УЗ станков приходятся на изготовление инструментов и на абразивы. В УЗ станках (см. вклейку) инструмент (рис. 2) приводится в колебат. движение магнитострикционным вибратором. В маломощных станках встречаются вибраторы из феррита или пьезокерамики. Выпущены станки с горизонтальной компоновкой, многопозиционные, установки с ручной головкой (табл. 4).

Лит.: Розенберг Л. Д. [и др.], Ультразвуковое резание, М., 1962. *Д. Ф. Яхимович.*

Табл. 4. Наиболее распространенные советские УЗ станки

Назначение	Универсальные			Сверление алмазных волок	Вырезание дисков из полупроводников	Маркировка, гравирование
Модель	4770	4772А	4773А	МЭ-22	4770А	УМ1-01
Обрабатываемые отверстия (*мм*)	0,5—10	1—40	15—60	0,3—1,2	Диски Ø 1—50	Риски, штрихи 0,5
Глубина обработки (*мм*)	30	40	50	4	Толщина диска 0,2—2	—
Ход головки (*мм*)	100	50	50	4	25	—
Размеры стола (*мм*)	125×165	250×350	400×500	Ø15	60×60	—
Сила подачи (*кг*)	до 4,5	до 30	до 60	0,02—0,20	0,4—2	—
Мощность (*ква*)	0,4	1,5	4	0,1	0,4	0,1
Размеры станка (*мм*)	705×515××420	1765×945××1375	2000×1300××1500	500×418××795	725×372××498	320×270××210
Вес (*кг*)	155	1500	2000	95	150	15
Производительность обработки (*мм³/мин*): стекла	300	5000	9000	1—2 волоки за смену	Диск Ø 30—50 *мм* толщиной 0,8—1 *мм* за 0,5—1 *мин*	1—5 *мм/сек*
твердого сплава	6	50	75	—	—	—

УЛЬТРАЗВУКОВОЕ ЭМУЛЬГИРОВАНИЕ (ultrasonic emulsifying; emulsification ultrasonique; Ultraschallemulgieren) — переход одной из взаимно нерастворимых жидкостей в дисперсное состояние в среде другой под действием акустических колебаний; позволяет получать без дополнит. гомогенизации высокодисперсные эмульсии с высокой однородностью частиц дисперсной фазы. Принцип же ввода акустич. энергии в зону образования эмульсии, исключает попадание в нее продуктов смазки, коррозии и износа механич. частей. В основе процесса У. э. лежит *кавитация ультразвуковая*, условия возникновения и протекания к-рой определяют все основные зависимости процесса У. э. от *интенсивности ультразвука* частоты, давления, темп-ры, наличия растворенных газов и т. п. Согласно современным представлениям переход одной из исходных жидкостей в дисперсное состояние вызывается увлекающим действием стенок кавитирующей полости в фазе ее захлопывания. При этом захлопывание такого пузырька происходит у границы раздела исходных жидкостей со стороны жидкости, служащей дисперсионной средой. В отсутствие специально вводимых поверхностноактивных веществ тип эмульсии преимущественно определяется кавитационной прочностью исходных жидкостей. Для начала У. э. необходимо нек-рое миним. (пороговое) значение интенсивности УЗ, ниже к-рого У. э. не наблюдается. Напр., пороговые значения интенсивности для систем масло — вода на частоте 20 *кгц* лежат в пределах от долей до неск. *вт/см²* на преобразователе. Как показано на рис., с ростом интенсивности УЗ, выраженной в *вт/см²*, растет оптическая плотность эмульсии, изменение к-рой во времени $\Delta D/\Delta t$ пропорционально скорости изменения концентрации эмульсии. Получение эмульсии проводят в широком диапазоне частот. Практически используемые для этой цели УЗ частоты не превышают 2—3 *Мгц*, причем верхняя граничная частота тем выше, чем ниже кавитац. прочность жидкости, служащей дисперсионной средой. С энергетич. точки зрения более выгодно использование области звуковых частот, а также нижних частот УЗ диапазона, где У. э. экономичнее проводить в поле стоячей волны. Размер частиц дисперсной фазы эмульсии не зависит от интенсивности УЗ и имеет незначит. частотную зависимость. С ростом частоты УЗ степень дисперсности эмульсии увеличивается и приближается к критич. значению, составляющему 10^{-5} *см*. Однако У. э. на ВЧ допустимо в случаях, когда энергетич. затраты оправдываются необходимостью получения макс. возможной степени дисперсности эмульсии. Для получения эмульсии используют гидродинамич., магнитострикционные и пьезоэлектрич. УЗ преобразователи (см. *Источник ультразвука*). Пром. устройства в зависимости от требуемой производительности включают набор (до неск. десятков) преобразователей расположенных последовательно или параллельно и конструктивно выполненных в виде колонн. Находят также применение установки, использующие одновременно разные типы УЗ преобразователей, работающих на разных частотах, например гидродинамический и магнитострикционный. Производительность наиболее распространенных установок для У. э. составляет 1,5—15 $м^3/час$ при общей мощности установок от 3 до 100 *квт*. В ряде пром. установок предусмотрена возможность повторного У. э. Для повышения эффективности У. э. процесс проводят с возможно более развитой поверхностью контакта исходных жидкостей. Последнее достигается либо предварит. (грубым) диспергированием жидкости (напр., путем перемешивания или введения диспергируемой жидкости в реакционную зону через форсунку) с последующим облучением в акустич. поле системы крупных капель, либо получением эмульсии по принципу *ультразвуковой очистки* (напр., путем введения диспергируемой жидкости в реакционную зону через поверхность с продуваемыми порами). Преимущества второго способа: 1) осуществление раздельного ввода в реакционную зону исходных жидкостей обеспечивает широкие возможности автономного изменения физич. и физико-химич. параметров каждой из них и их граничных поверхностей непосредственно в ходе У. э.; 2) снижается порог кавитации на граничных поверхностях и ее развитие на них происходит более равномерно; 3) обеспечивается контролируемое постоянство поверхности контакта исходных жидкостей; 4) переход жидкости в дисперсное состояние осуществляется в виде частиц только конечного размера, характерного для данного механизма образования эмульсии. В качестве материала для развитой поверхности могут быть использованы наборы из металлич. сеток с разным размером ячеек, пористая керамика, металлокерамика, порошковые пористые сплавы, пористые материалы из полимеров и др. материалы, химически инертные к используемым жидкостям и стойкие к кавитационной эрозии.



Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., 2 изд., М., 1957; Недужий С. А., Исследование процесса образования эмульсий, вызываемого действием звуковых и ультразвуковых колебаний, «АЖ», 1961, т. 7, вып. 3, с. 275—94; его же, О характере возмущений, вызывающих образование дисперсной фазы эмульсии в акустическом поле, там же, 1964, т. 10, вып. 4; Гершгал Д. А., Фридман В. М., Ультразвуковая аппаратура, М.—Л., 1961; Esche R., Wenk P., Moderne Ultraschallanlagen für Reinigung, Entgasung und Dispergierung, «Electrotechn. Z.», 1960, Jg 12, H. 5, S. 97—104. *С. А. Недужий.*

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВИБРОМЕТР — см. *Ультразвуковой измеритель вибраций.*

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ВОЛНЫ СКОРОСТЬ (ultrasonic wave velocity; vitesse d'onde ultrasonore; Geschwindigkeit der Ultraschallwelle) — различают фазовую и групповую. Фазовой скоростью наз. скорость перемещения в пространстве к.-л. значения фазы гармонич. монохроматич. волны, не меняющей формы профиля. Она определяется следующим образом: $c_0=\omega/k$, где ω — круговая частота, $k=2\pi/\lambda$ — волновое число, λ — длина волны. Немонохроматич. волны в процессе распространения меняют форму профиля из-за различия фазовых скоростей отдельных монохроматич. составляющих волны (при значит. дисперсии отождествление отдельных «точек» волны в разных точках пространства в разные моменты времени становится затруднительным, понятие фазовой скорости теряет смысл). Для немонохроматич. волн с узким спектром (т. н. волновой пакет) вводится понятие групповой У. в. с. U, т. е. скорости перемещения в пространстве определ. амплитуды (точнее огибающей) «волнового пакета», к-рая определяется ф-лой Релея: $U=d\omega/dk=c_0-\lambda dc_0/d\lambda$, где c_0 — ср. фазовая скорость, λ — ср. длина волны «волнового пакета». Природа дисперсии скорости может быть различной, например обусловлена различными «внутренними» процессами (вязкостью, теплопроводностью, релаксацией) или вызвана геометрич. условиями распространения волны (напр., распространение волн на поверхности жидкости, изгибных волн в тонких оболочках, продольных волн в волноводах и др.). В том случае, когда дисперсии нет, групповая скорость равна фазовой.

В сплошной неогранич. среде без вязкости и теплопроводности скорость волн сжатия (продольных волн) не зависит от частоты и определяется адиабатич. модулем объемной упругости: $\varkappa_{ад}=\varrho_0(dp/d\varrho)_{\varrho=\varrho_0,\ s=s_0}$, где p — давление, ϱ — плотность, ϱ_0 — плотность невозмущ. среды, S — энтропия, S_0 — энтропия невозмущ. среды. Скорость волны $c_0=(\varkappa_{ад}/\varrho_0)^{1/2}=(dp/d\rho)^{1/2}_{\varrho=\varrho_0,\ s=s_0}$.

Для идеального газа $\varkappa_{ад}=\gamma p_0$, где p_0 — давление в невозмущ. среде, $\gamma=C_p/C_v$, где C_p и C_v — соответственно теплоемкости при пост. давлении и пост. объеме. Эксперимент. значения скорости звука и температурного коэфф. скорости в нек-рых газах приведены в табл. 1.

Табл. 1. Скорость звука при 0°C и температурный коэфф. скорости звука в газах

Газ	c_0 (м/сек)	$(dc_0/dt)_{t=0}$ (м/сек·°C)
Азот	333,6	0,85
Водород	1270	2,00
Воздух, сухой	331,4	0,607
Гелий	970	1,55
Кислород	316	0,57
Метан	430	0,62
Углекислый газ	259	0,87
Углерода окись	337	0,60

Для жидкостей, ур-ние состояния к-рых неизвестно, обычно используется эксперимент. объемная сжимаемость $\beta_{ад}=\varkappa_{ад}^{-1}$; эксперимент. значения скорости звука и температурного коэфф. скорости звука нек-рых жидкостей приведены в табл. 2.

В твердых телах $\varkappa_{ад}=K+\frac{4}{3}\mu=\lambda+2\mu=E\frac{1-\sigma}{(1+\sigma)(1-2\sigma)}$, где K — адиабатич. модуль всестороннего сжатия, μ — модуль сдвига, λ — адиабатич. постоянная Ламэ, E — адиабатич. модуль Юнга, σ — коэфф. Пуассона; значения У. в. с. в неогранич. твердых телах приведены в табл. 3.

Помимо продольных волн, в жидкостях на границе двух несмешивающихся жидкостей или на границе жидкость — газ могут распространяться поверхностные волны. Для слоя невязкой жидкости толщиной h, граничащего с вакуумом, фазовая скорость поверхностных волн: $c_{пов}=\left[\left(\frac{g\lambda}{2\pi}+\frac{2\pi\alpha}{\varrho_0\lambda}\right)\mathrm{th}\,\frac{2\pi h}{\lambda}\right]^{1/2}$ (для глубокого $h\gg\lambda$ слоя $\mathrm{th}\,\frac{2\pi h}{\lambda}\approx 1$), где g — ускорение силы тяжести, α — поверхностное натяжение. Для коротких $\lambda\ll 2\pi(\alpha/g\varrho_0)^{1/2}$ (капиллярных) волн групповая скорость $U_\kappa=\frac{3}{2}(2\pi\alpha/\varrho_0\lambda)^{1/2}$, для длинных $\lambda\gg 2\pi(\alpha/g\varrho_0)^{1/2}$ (гравитационных) волн при $h\gg\lambda$ групповая скорость $U_g=\frac{1}{2}(g\lambda/2\pi)^{1/2}$.

В твердых телах, кроме продольных волн, могут распространяться волны след. типов: 1) поперечные волны, скорость к-рых в неогранич. среде $c_\tau=(\mu/\varrho_0)^{1/2}=\left[\frac{E}{\varrho_0}\cdot\frac{1}{2(1+\sigma)}\right]^{1/2}$ (см.

Табл. 2. Скорость звука и температурный коэфф. скорости звука в жидкостях

Жидкость	t(°C)	c_0(м/сек)	$\frac{dc_0}{dt}$ (м/сек·°C)
Ацетон	20	1190	−5,5
Бензол	20	1325	−5,2
Вода дистиллированная	20	1484	+2,5*
Глицерин	20	1923	−1,8
Керосин	25	1315	—
Масло касторовое	18,6	1500	−4,1
Масло трансформаторное	20	1425	—
Ртуть	20	1451	−0,46
Скипидар	20	1225	—
Спирт метиловый	20	1123	−3,3
Спирт этиловый	20	1177	−3,6
Толуол	20	1328	−4,3
Эфир этиловый	20	1008	−5,4

* До температур, меньших ~ 60°C.

Табл. 3. Скорость звука в твердых телах*

Материал	Скорость звука при 20°C (м/сек)		
	в неограниченной среде продольные волны c_l	в неограниченной среде поперечные волны c_τ	в тонких стержнях $c_{ст}$
Алюминий	6185—6420	3050—3130	5080—5200
Бериллий	12890	8880	12870
Бетон	4200—5300	—	—
Вольфрам	5410—5460	2620—2640	4310—4320
Дюралюминий	6320	3130	5150
Железо	5835—5950	3180—3240	5000—5200
Золото	3240	1200	2030
Индий	2300—2500	1300—1440	—
Кварц кристалл (X-срез)	5720	—	5440
Кварц плавленый	5968—5980	3760—3764	5760
Латунь	4280—4700	2020—2140	3130—3580
Магний	5750—5770	3050—3080	4600—4970
Медь	4720—5010	2270	3700—3790
Монель	5380	2720	4400
Никель	5630	2960	4785—4973
Олово	3320	1670	2730
Платина	3260	1730	2690—2800
Плексиглас	2670—2680	1100—1121	1840—2140
Полистирол	2350	1120	1860—2240
Полиэтилен	1950	540	920
Свинец	1960—2400	700	1200—1320
Серебро	3650—3700	1610—1690	2610—2800
Сталь	5740—6100	2900—3230	5050—5170
Стекло, крон	5100—6120	2840—3550	4540—5300
Стекло, пирекс	5640	3280	5170
Стекло, флинт	3760—4800	2380—2560	3490—4550
Фарфор	5340	3120	4884
Цинк	4170—4210	2440	3700—3850
Эбонит	2405	—	1570

* Скорость звука в твердых телах в нек-рой мере зависит от химич. состава, примесей; в металлич. телах — от характера обработки (литье, прокат, ковка, отжиг и т. п.), от наличия микро- и макродефектов (воздушных пузырьков, шлаковых остатков и т. д.).

табл. 3); 2) на границе раздела твердого тела с вакуумом (или газом) могут распространяться релеевские поверхностные волны, скорость к-рых c_R не зависит от частоты и неск. меньше c_τ: $c_R = \frac{0{,}87+1{,}12\,\sigma}{1+\sigma}\,c_\tau$; 3) продольные волны в тонких стержнях диаметром $\ll\lambda$ $c_{ст} = (E/\varrho_0)^{1/2}$; 4) крутильные волны в стержнях, скорость к-рых c_τ; 5) изгибные волны в стержнях или оболочках. Скорость изгибных волн зависит от формы поперечного сечения волновода. Например, для тонкого листа толщины $h \ll \lambda$ фазовая скорость изгибных волн $c_{изг} = \left(\frac{h\omega}{2}\right)^{1/2}\left[\frac{E}{\varrho_0}\cdot\frac{1}{3(1-\sigma^2)}\right]^{1/4}$; для стержня радиуса $r \ll \lambda c_{изг} = (r\omega/2)^{1/2}\,(E/\varrho_0)^{1/4}$.

У. в. с. зависит от темп-ры: в газах $c_0 \sim \sqrt{T_0}$, где T_0 — абс. темп-ра невозмущенной среды. В большинстве жидкостей (исключением является вода) У. в. с. линейно убывает с ростом темп-ры. Зависимость скорости от давления в реальных средах незначительна. В морской воде скорость продольных волн зависит от темп-ры t (в °С), глубины H (в *м*) и солености S (в промиллях): $c_0 = 1410 + 4{,}21t - 0{,}037\,t^2 + 0{,}00018H + 1{,}1S$ *м/сек*. В ферромагнетиках скорость продольных волн зависит от величины и направления внешнего магнитного поля (ΔE-эффект), в сегнетоэлектриках — от внешнего электрич. поля.

В волне конечной амплитуды скорость нек-рой «точки» профиля волны складывается из местной скорости звука $c = (dp/d\varrho)^{1/2}_{s=s_0}$ (зависящей от сжатия в этой «точке») и колебат. скорости с соответствующим знаком; нули такой волны распространяются со скоростью c_0.

Лит.: Мандельштам Л. И., Полное собрание трудов, т. 5, [М.], 1950; Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Механика сплошных сред, 2 изд., М., 1954; Горелик Г. С., Колебания и волны, 2 изд., М., 1959. *Л. К. Зарембо.*

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ГЕНЕРАТОР ИМПУЛЬСОВ (ultrasonic pulse generator; générateur d'impulsions à ultra-sons; Ultraschallimpulsgenerator) — устройство для преобразования электрич. энергии пром. частоты в импульсы УЗ колебаний различной длительности с различной частотой следования. Работает по принципу медл. запасания энергии в течение длит. паузы между импульсами и быстрой отдачи накопл. энергии в виде импульса УЗ колебаний; состоит из электронного преобразователя тока пром. частоты в постоянный ток, накопительных элементов, коммутационного устройства и излучателя, преобразующего электрич. импульсы в УЗ колебания.

Существуют У. г. и. с апериодич. импульсами и коммутац. устройством с униполярной проводимостью и У. г. и. с затухающими колебаниями и коммутац. устройством с биполярной проводимостью. В У. г. и. 1-го типа в качестве коммутирующего устройства используют импульсные модуляторные тиратроны (ТГИ1-90/8, ТГИ1-400/3,5 и др.). В У. г. и. 2-го типа используются механические коммутирующие устройства, реле (электромагнитортутные, термортутные и др.), газоразрядные управляемые лампы. Накопление энергии в системе регулируют зарядные цепи различного типа. В цепи типа *RC* (рис. 1) в промежутке между импульсами конденсатор C заряжается от источника E_a через сопротивление R, величина к-рого определяет частоту следования импульсов, ограничивается временем, необходимым для деионизации коммутац. устройства. Наибольшая отдача у генераторов с таким типом зарядной цепи имеет место при заряде конденсатора до 71,5% от напряжения источника пост. тока. Преимущества зарядной цепи типа *RLC*

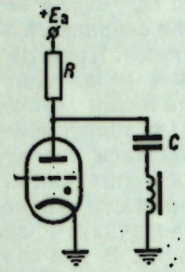


Рис. 1.

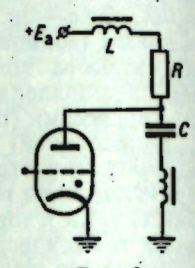


Рис. 2.

(рис. 2) — уменьшение времени заряда конденсатора и улучшение условий деионизации коммутирующих устройств. В зарядных цепях типа *CC* (рис. 3) и *LC* (рис. 4) токоограничивающее сопротивление заменено емкостью или индуктивностью; кпд этих У. г. и. вдвое выше, чем У. г. и. с зарядной цепью типа *RC* или *RLC*. Наиболее эффективное соотношение между емкостями токоограничивающего и накопит. конденсаторов (в цепях типа *CC*) равно 2, для повышения частоты следования импульсов его увеличивают до 8—10. В зарядной цепи типа *LC* напряжение на накопит. конденсаторе достигает удвоенного напряжения источника питания.

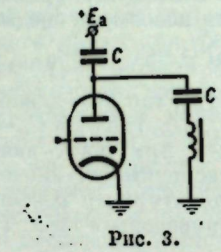


Рис. 3.

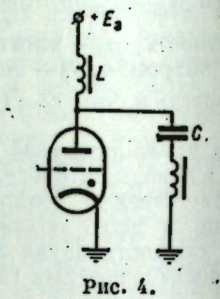


Рис. 4.

В У. г. и. с апериодич. импульсом во время разряда через нагрузку протекает импульс тока косинусоидальной формы и УЗ излучатель приобретает нач. деформацию. Длительность разрядного импульса выбирают достаточной для окончания переходного процесса в излучателе. В У. г. и. с затухающими колебаниями форма тока в нагрузке синусоидальная, длительность колебаний определяется добротностью электрич. контура, образованного накопит. конденсатором и динамич. индуктивностью нагрузки, а частота колебаний выбирается такой, чтобы излучатель работал на своей резонансной частоте.

В качестве импульсных УЗ излучателей, как правило, применяются магнитострикц. излучатели, у к-рых длительность и интенсивность УЗ импульса зависит от массы излучателя, упругих св-в и нач. деформации его материала, обусловленной воздействием магнитного поля тока, т. е. числом ампервитков обмотки излучателя. При прочих равных условиях наибольшее число ампервитков достигается для никелевых магнитострикц. излучателей. Последние при одних и тех же магнитных индукциях обеспечивают к тому же бо́льшую интенсивность излучения. Наиболее распространен четырехстержневой никелевый импульсный УЗ излучатель.

При работе с излучателем в импульсном режиме применение согласующих пластин и волноводов нецелесообразно. Из-за большой добротности переходный процесс в этих колебат. системах весьма продолжителен, так что за время импульса амплитуда колебаний увеличится незначительно. Т. к. при малом числе импульсов в сек. (до неск. сот) ср. мощность, подводимая к импульсному УЗ излучателю, невелика, нет необходимости в спец. устройствах для его охлаждения. Такое устройство необходимо как при большом числе импульсов в сек., так и при работе излучателя в непрерывном режиме. Генераторы этого типа имеют низкий кпд (при малом числе импульсов в сек.—5—6%, при большом числе импульсов в сек.— до 20%), однако они портативны, пригодны к эксплуатации в течение длит. времени (неск. месяцев или даже неск. лет) и обеспечивают получение мощных УЗ импульсов. Отечеств. генераторы ИГТ-1,7, ИГУ-9, ИГ-58, ИГТ-6, ТУИГ-2М и др. и англ. генераторы «Крустекс» и «Маркони» при частоте следования импульсов от 1 *имп/сек* до 700 *имп/сек* обеспечивают мощность от 10 *вт* до 3 *квт*.

У. г. и. используются для предотвращения накипеобразования в паровых котлах, обрастания подводной части судов живыми организмами, инкрустации химич. аппаратуры отложением солей, а также для интенсификации кристаллизации и процесса синтеза органич. соединений электрохимич. путем и др.

Лит.: Предотвращение котельной накипи ультразвуком, М., 1958; Борок А. М., Глушнев Н. У., Богданов Ю. С., Способы улучшения схемы импульсного ультразвукового генератора ударного действия, «Техн.-информ. бюл. ЦКБ УВУ», 1961, № 1(19); Гершгал Д. А., Фридман В. М., Ультразвуковая аппаратура, М.—Л., 1961. *Б. Г. Новицкий.*

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ГЕНЕРАТОР МАШИННЫЙ (high frequency alternator for ultrasonic trunsducer; alternateur à haute fréquence pour le transducteur ultrasonore; ultraschalle Hochfrequenzmaschine) — устройство для преобразования трехфазного переменного тока частотой 50 *гц* в однофазный ток повышенной частоты, применяемое для питания низкоомных, напр. магнитострикционных, излучателей; принадлежит к классу переменнополюсных ВЧ электромашин индукторного типа и имеет явно выраженные полюса. Рабочая обмотка и обмотка возбуждения У. г. м. расположены на статоре, причем катушки обеих обмоток охватывают один зубец (полюс) статора. При вращении ротора возникают пульсации магнитного потока в пределах от $\Phi_{макс}$ до $\Phi_{мин}$, при этом постоянная Φ_0 и переменная $\Phi_п$ составляющие магнитного потока принимают значения: $\Phi_0 = \frac{\Phi_{макс}+\Phi_{мин}}{2}$ и $\Phi_п = \frac{\Phi_{макс}-\Phi_{мин}}{2}$.

Ввиду конструктивных трудностей, возникающих при укладке двух обмоток на каждый зубец статора, в нек-рых генераторах обмотки охватывают группу зубцов, причем пульсация магнитного потока не изменяет частоты. Главными преимуществами У.г.м. перед электронными являются: высокий кпд (до 80%), простота обслуживания, компактность и надежность при эксплуатации. Недостатки — работа на НЧ и невозможность перестройки частоты.

Данные, характеризующие У. г. м., выпускаемые отечеств. произ-вом, приведены в таблице.

Тип генератора	Двигатель		Генератор				Диаметр (*мм*)	Высота (*мм*)	Вес (*кг*)
	мощность (*квт*)	частота (*гц*)	напряжение (*в*)	мощность (*квт*)	частота (*гц*)	напряжение (*в*)			
ВПЧ12-8000	17	50	220/380	12	8000	100/200	570	950	650
ВПЧ20-8000	30,5	50	220/380	20	8000	200/400	660	1090	870
ВПЧ30-8000	42	50	220/380	30	8000	200/400	660	1090	1030
ВПЧ50-8000	77	50	220/380	50	8000	200/400/800	860	1390	1870
ВПЧ100-8000	140	50	220/380	100	8000	200/400/800	860	1685	2610

Лит.: Костенко М. П., Пиотровский Л. М., Электрические машины, ч. 1—2, М.—Л., 1958; Гершгал Д. А., Фридман В. М., Ультразвуковая аппаратура, М.—Л., 1961. *Б. Г. Новицкий.*

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ ВИБРАЦИИ (ultrasonic vibrometer; vibromètre ultrasonique; Ultraschallschwingungsmesser) — прибор для измерения колебаний твердых поверхностей в диапазоне УЗ частот. Принцип действия У. и. в. основан на преобразовании параметров исследуемого колебания тела в соответствующие изменения др. физич. величин (напр., смещении, скорости, ускорения w, резкости dw/dt, частоты и др.). Преобразованный сигнал поступает на регистрирующий прибор или анализатор. В У. и. в. кинематич. типа отсчет смещений колеблющегося тела ведется относительно неподвижной системы координат, а в приборах динамич. типа — относительно инерц. элемента (большой массы), связанного с исследуемым объектом с помощью упругого элемента небольшой жесткости. У. и. в. классифицируются: 1) по количеству измеряемых величин — одно-, двух- и трехнаправленные в соответствии с количеством координат, по к-рым одновременно производятся независимые измерения; 2) по измеряемому параметру — измерители смещения (виброметры), скорости (велосиметры), ускорения (акселерометры), угловых компонентов колебаний (торсиометры), частоты (частотомеры), спектра вибраций (спектрометры), фазы (фазометры), клирфактора вибраций, статистич. хар-к случайных колебаний (дисперсии, автокорреляции, энергетич. спектра). При этом измеряются мгновенные, пиковые, эффективные или действующие значения указанных параметров. Различают измерители установившихся и импульсных вибраций. По принципу преобразования механич. колебаний в другие его виды У. и. в. бывают генераторными (механич.

колебания преобразуются непосредственно в электрические); модуляторными (механич. колебания модулируют поток энергии от постороннего источника, напр. световой поток, пост. или перем. электрич. ток, радиоактивные или УЗ излучения и т. п.); с косвенным преобразованием вибраций в электрич. колебания через колебания др. вида. В соответствии со способом преобразования механич. колебаний в др. его виды для их записи и измерения строятся приборы У. и. в. след. типов: механические без преобразования; оптические, электродинамические, электромагнитные, индукционные, индуктивные и трансформаторные; пьезоэлектрические, омические емкостные; механотроны; электрокинетические, электрохимические, термоэлектрические, акустические; магнитоупругие; локаторы с электромагнитным, ультразвуковым или оптическим облучением; с использованием электретов, радиоактивности, эффекта Холла; электроконтактные с разрывом или замыканием цепи электрич. тока (для макс. измерений). На рис. 1 дана схема простейшего вибродатчика инерц. типа, состоящего из груза *1*, подвешенного на пружине *2*, прикрепленной к кронштейну *3*. Регистрация вибраций производится по шкале *4*. Для преобразования механич. колебаний в электрические в качестве груза *1* берут пост. магнит, к-рый помещают в соленоид, прикрепленный к кронштейну *3*. Тогда в соленоиде при вибрации наводится эдс, регистрируемая электроизмерит. приборами. Частота собств. колебаний такого вибродатчика не ниже 8—10 *гц*. Для понижения собств. частоты применяют датчики маятникового типа на упругих подвесах *1* (рис. 2) с дополнит. упругой связью *2*. Последняя позволяет уменьшить собств. частоту маятника в 5—6 раз. Для преобразования механич. колебаний в электрические к грузу маятника *2* присоединяется катушка, помещаемая в зазор кольцевого магнита, укрепленного на основании прибора (преобразователь генераторного типа). Катушка подключается к гальванометру. На этом принципе работают приборы типов ВЭГИК, ВДЦ и ВД-3. Последние два типа позволяют измерять вибрации в диапазоне частот от 1 до 200 *гц* с погрешностью

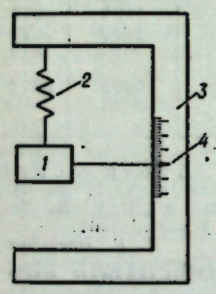


Рис. 1. Схема вибродатчика инерционного типа.

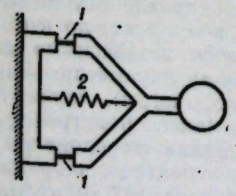


Рис. 2. Схема вибродатчика маятникового типа на упругих подвесах.

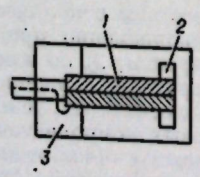


Рис. 3. Схема пьезокристаллического акселерометра.

на концах диапазона не хуже 5%. Вес прибора ВДЦ —2,8 *кг*, ВД-3—1 *кг*.

На рис. 3 дана схема акселерометра с пьезоэлементом *1*, снабженным инерц. массой *2* и закрепленным консольно в основании датчика *3*. Для увеличения прочности датчика консольное крепление пьезоэлемента часто заменяют креплением на двух опорах, причем пьезоэлемент располагают между двумя металлич. пластинами. В одной из конструкций такого датчика с инерц. массой 1 *кг* и пьезокварцевым элементом чувствительность составляла 3 *в·сек²/м*, а эдс линейно зависела от ускорения.

Распространение получили бесконтактные У. и. в., осн. преимущество к-рых состоит в практически полном отсутствии влияния датчика на измеряемый объект. Напр., ВЧ бесконтактный У. и. в. типа УБВ-2 имеет индуктивный датчик без ферромагнитного сердечника. Такой тип У. и. в. служит для измерения смещений в диапазоне частот 8—50 *кгц*. Виброметр состоит из автогенератора, полосового усилителя, избират. и выходного усилителей (рис. 4). Датчик *1* является индуктивностью колебат. контура и вводит перем. индуктивность в контур автогенератора *2*, создавая тем самым изменение его мгновенной частоты в соответствии с изменениями смещения вибрирующей поверхности. Частотно-модулированное напряжение с выхода автогенератора поступает на амплитудный ограничитель *3* (для устранения паразитной амплитудной модуляции), в анодной цепи лампы к-рого находится контур фазового дискриминатора, а затем на частотный детектор *4*. Для измерения постоянной составляющей применяется микроамперметр *5* типа М-24 класса 1,5 со шкалой 0,50 *мка*. Имеются конструкции бесконтактного виброметра с амплитудной модуляцией, где величина амплитудно-модулированного напряжения на выходе автогенератора пропорциональна изменению расстояния между объектом и катушкой в цепи колебат. контура автогенератора. На рис. 5 показана схема индукц. бесконтактного У. и. в. Генератор *1*, работающий на частоте 2,5 *Мгц*, соединен с катушкой *2*, с к-рой индуктивно связана катушка *3*, подключенная через детектор *4* к пиковому вольтметру *5*. При движении металлич. немагнитной поверхности *6* изменяется взаимная индукция между катушками *2* и *3*, вследствие чего изменяются показания пикового вольтметра *5*, зависящие почти линейно от амплитуды смещения поверхности *6*. Амплитуды колебаний, измеряемые при помощи описанного прибора, могут изменяться от $5 \cdot 10^{-4}$ до 0,5 *мм*. Частотная хар-ка прибора имеет в пределах 1 *дб* плоскую форму в диапазоне частот от 10 *гц* до 20 *кгц*.

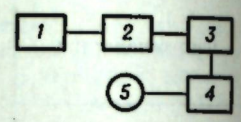


Рис. 4. Блок-схема бесконтактного виброметра с частотной модуляцией.

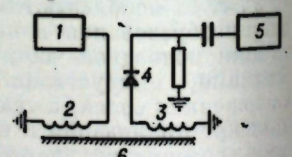


Рис. 5. Схема индукционного бесконтактного вибродатчика с частотной модуляцией.

В бесконтактных виброметрах с емкостными датчиками обычно используется изменение электрич. емкости между колеблющейся поверхностью и пластиной вибродатчика, включенной в цепь ветви измерит. моста, колебат. контура ВЧ генератора или др. электрич. устройства, в результате чего происходит преобразование изменения емкости в изменение электрич. сигнала.

Приведенный на рис. 6 УЗ вибродатчик основан на оптико-упругом эффекте, возникающем при распространении УЗ волны в твердом прозрачном теле: вибрирующей поверхности *1* касается конец волновода *2*, соединенный со стеклянным волноводом *3*, расположенным между скрещенными поляризатором *4* и анализатором *5* светового потока. Источником света является лампа *6*, приемником — фотоэлемент 7. При распространении по волноводу *3* УЗ колебаний происходит вращение плоскости поляризации и возрастание тока фотоэлемента, однозначно связанное с амплитудой колебаний вибрирующей поверхности. Новые типы вибродатчиков-акселерометров были получены в результате разработки *механотрона*. На рис. 7 показана схема механотрона - акселерометра, состоящего из неподвижно закрепленного подогревного катода *1* и подвижного анода *2*, впаянного в стеклянный сильфон *3*. При вибрации механотрона вследствие изменения относит. расстояния между анодом и катодом величина анодного тока изменяется пропорционально изменению амплитуды ускорения. Появление ПП позволило конструировать вибродатчики. Напр., построен трехнаправленный акселерометр с объемным пьезоэлементом из монокристалла германия или кремния, позволяющий измерять вектор ускорения при помощи измерения трех его компонент.

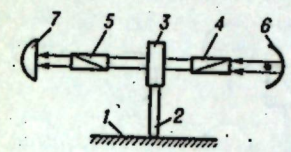


Рис. 6. Схема вибродатчика оптического типа.

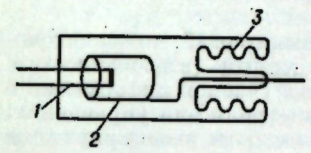


Рис. 7. Схема механотрона-акселерометра.

Регистрирующими приборами в виброметрах служат гальванометры, шлейфовые и электронные осциллографы, электронные самопишущие регистраторы уровня, зерк. гальванометры и др. устройства. Для исследования вибраций применяют комплексы измерит. аппаратуры, состоящие из вибродатчиков, предварит. и осн. усилителей, многоканального регистратора, анализатора спектра и др. приборов.

Лит.: Иориш Ю. И., Виброметрия, 2 изд., М., 1963; Бибер Л. А., Вибрографы с гальванометрической регистрацией, М.—Л., 1960; Синани И. Б., Из опыта конструирования пьезоэлектрических приборов для измерения вибраций, Л., 1964; Гевондян Т. А., Киселев Л. Т., Приборы для измерения и регистрации колебаний, М., 1962; Витковский А. В., Бесконтактные высокочастотные виброметры, в сб.: Контрольно-измерительные ультразвуковые приборы. Сб. докл. Всес. научно-техн. конференции по применению ультразвука в промышленности, М., 1960. *И. Н. Канаевский.*

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИЗМЕРИТЕЛЬ УРОВНЯ (ultrasonic level gauge; appareil de mesure ultrasonique de niveau; Ultraschallpegelmesser) — прибор для контроля уровня жидких и сыпучих сред, основанный на явлении отражения УЗ волн от границы между жидкостью и газом, жидкостью и сыпучим телом или сыпучим телом и газом; не требует ввода к.-л. устройств внутрь контролируемого объема, что позволяет определять уровень агрессивных и токсичных сред или сред, находящихся при высоких значениях давления и темп-ры в герметичных емкостях. Локация уровня может осуществляться через газовую среду УЗ излучателем, устанавливаемым в верхней части емкости во всех случаях, когда контролируемая среда образует в среднем горизонтальную поверхность раздела с газовой средой. Локация уровня снизу применяется для контроля жидкостей, не имеющих твердых и газовых включений.

У. и. у. состоит из обратимого преобразователя (датчика), установленного на емкости с контролируемой средой, электронного блока, к-рый может находиться на расстоянии от объекта контроля, и вторичного измерит. прибора. Датчики имеют цельносварную конструкцию и могут размещаться на емкости любым образом в зависимости от ее конфигурации при условии обеспечения нормального падения УЗ луча на плоскость контролируемой границы раздела сред. Электронная часть прибора монтируется на шасси и помещается в спец. корпус. В качестве вторичных приборов могут использоваться стандартные автоматич. потенциометры.

У большинства приборов измеряемые интервалы времени между прямым и отраженным импульсами преобразуются в видеоимпульсы, производимые триггерным устройством, длительность к-рых равна измеряемому интервалу и пропорциональна измеряемому уровню. Величина постоянной составляющей видеоимпульсов является мерой уровня. По характеру выходных сигналов У. и. у. делятся на 2 класса: 1) с выходным сигналом в виде постоянного напряжения порядка десятков *мв*, к-рое может быть определено измерителем постоянного напряжения или автоматич. потенциометром; 2) с унифицированным выходным сигналом в виде постоянного напряжения, изменяющегося от нуля до 10 *в* во всем диапазоне измерений. Благодаря наличию унифицированного сигнала У. и. у. может быть использован в системах регулирования и в системах централизованного контроля. Особую группу У.и.у. составляют указатели уровня с излучателем и приемником, располагаемыми в одной горизонт. плоскости на боковых поверхностях контейнера. Можно судить о наличии жидкости на определ. уровне в контейнере, сопоставляя сигналы на датчике при пустом и заполненном исследуемой средой контейнере.

Основная погрешность У.и.у. не превышает ± 1,5%. Погрешность от изменения темп-ры контролируемой среды определяется расчетным путем и может быть уменьшена введением температурной компенсации.

Лит.: Гершгал Д. А., Фридман В. М., Ультразвуковая аппаратура, М.—Л., 1961; Бабиков О. И., Ультразвук и его применение в промышленности, М., 1958. *З. М. Шафрановская.*

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОНТРОЛЬ (ultrasonic inspection; contrôle par les ultra-sons; Ultraschallprüfung) — основан на том, что любое изменение св-в, размеров или граничных условий материальной среды неминуемо приводит к изменению характера распространения звуковых (ультразвуковых) волн, что сравнительно легко может быть установлено акустич. способами. В силу своей механич. природы упругие колебания и волны являются наиболее адекватным средством исследования материальных сред и измерения их механич. св-в.

Хар-ки звуковых колебаний, непосредственно поддающиеся измерению: частота колебаний, их амплитуда и фаза (в более общем случае

амплитудный и фазовый спектры), время распространения импульса и КБВ (коэфф. бегущей волны) для стоячей волны. Знание этих величин позволяет установить скорость распространения звуковых волн в исследуемой среде, коэфф. поглощения и рассеяния, коэфф. отражения от границ и др. параметры, являющиеся показателями изменений св-в и состояния вещества. Часто полезным бывает изменение указанных величин в ф-ции частоты.

По предмету измерений методы У. к. могут быть разбиты на след. осн. группы: 1) измерение геометрич. размеров тел (*Ультразвуковая толщинометрия*, *Ультразвуковой измеритель уровня*, высотомеры и т. д.); 2) измерение механич. хар-к среды — упругих констант, плотности, вязкости (см. *Вискозиметр ультразвуковой*); 3) измерение состояния среды — темп-ры, давления, скорости перемещения (см. *Расходомер ультразвуковой*), установление наличия примесей и др.; 4) определение структуры, размеров, элементов движения живых органов и тканей организма (установление наличия, характера и величины опухолей, контроль колебаний участков поверхности сердца, измерение скорости движения крови в кровеносных сосудах); обнаружение инородных тел, напр. камней в почках и в желчном протоке, и т. д.; 5) контроль за ходом химич. реакций и физико-химических процессов — за растворением, диффузией, экстрагированием, полимеризацией, кристаллизацией, старением и др.; 6) определение поверхностных и скрытых дефектов материалов и деталей (см. *Ультразвуковая дефектоскопия*). Сюда же по существу относится и гидролокация (см. *Гидролокатор*).

Осн. преимущества всех методов У. к.: возможность работы в активных средах при высоких темп-рах и давлениях; малое рабочее время, потребное для выполнения измерения (при необходимости оно может быть доведено до 10^{-6} — 10^{-7} *сек*); возможность выноса датчика на относительно большие расстояния; возможность применения выходных сигналов для автоматизации как процесса контроля, так и для управления разнообразными технологич. процессами.

В установках У. к. применяется как импульсное, так и непрерывное излучение; в последнем случае часто используются стоячие волны. В схемах с двумя датчиками испытат. сигнал вводится в исследуемую среду одним датчиком и затем, пройдя через нее, воспринимается др. датчиком. В более широко распространенных импульсных схемах с одним датчиком последний используется поочередно как *излучатель ультразвука* и как *приемник ультразвука*. В одноатчиковых системах с непрерывным излучением реализуется изменение реакции среды на излучатель (резонансный толщиномер, указатель уровня и т.д.). Для примера на рис. 1 и 2 схематически показаны блок-схема простейшего импульсного прибора У. к. и вид импульсов на экране его лучевой трубки. По изменению величины и положения принятого сигнала можно судить об изменении скорости распространения звука и его поглощения, что, в свою очередь, дает основание судить о состоянии исследуемой среды. Часто для большей точности применяют не абсолютное, а дифференциальное измерение величины, т. е. измеряют отклонения этой величины от ее первонач. значения, заданного соответствующим эталоном.

В тех случаях, когда в основе системы У. к. лежит измерение скорости ультразвуковых волн, часто вместо общепринятой методики применяют несколько менее точный, но значительно более простой и удобный (в особенности с точки зрения ввода получаемой информации в систему автоматич. контроля или управления) метод, названный методом автоциркуляции (sing around) импульса. Идея этого метода заключается в том, что каждый очередной излучаемый импульс запускается предыдущим, прошедшим через испытуемую среду и воспринятым приемным устройством. Т. к. время срабатывания электронных узлов (усилитель, триггер, формирующее устройство и др.) пренебрежимо мало по сравнению со временем τ распространения УЗ импульса в исследуемой среде, то можно с достаточной степенью точности считать, что частота повторений будет определяться только этим временем распространения $f=1/\tau$. Т. о., скорость распространения звука в данной среде измеряется не через дискретную величину времени пробега импульса τ, а через непрерывную плавно меняющуюся частоту, значение к-рой очень удобно вводить в измерит. или управляющее устройство. Существуют аналогичные варианты и для схем с применением непрерывного (неимпульсного) излучения. В этом случае используется автогенератор, в к-ром в качестве колебат. контура взят резонансный столб исследуемой среды. Схемы автоциркуляции могут быть использованы как для абсолютных, так и для дифференц. измерений.

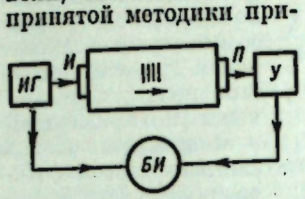


Рис. 1.

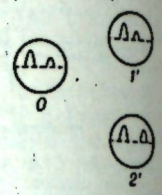


Рис. 2.

Рис. 1. Блок-схема прибора УЗ контроля импульсным методом: *ИГ* — импульсный генератор; *И* — излучатель; *П* — приемник; *У* — усилитель; *БИ* — блок индикатора.

Рис. 2. Вид импульсов на экране лучевой трубки простейшего импульсного прибора УЗ контроля: *О* — при начальном положении; *1* — при увеличившейся скорости распространения звука; *1'* — при уменьшившейся скорости распространения звука; *2* — при увеличившемся затухании звука; *2'* — при уменьшившемся затухании звука.

Лит.: Розенберг Л. Д., Акустические методы измерения неакустических величин, в кн.: Сессия АН СССР по научным проблемам автоматизации производства. 15—20 окт. 1956 г., [т. 3], М., 1957, с. 130—44; Бабиков О. И., Ультразвук и его применение в промышленности, М., 1958; Гершгал Д. А., Фридман В. М., Ультразвуковая аппаратура, М.—Л., 1961; Биргер Г. И., Бражников Н. И., Ультразвуковые расходомеры, М., 1964.

Л. Д. Розенберг.

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ЛАМПОВЫЙ ГЕНЕРАТОР (ultrasonic valve generator; générateur d'ultrason à tubes électronique; Ultraschallröhrengenerator) — устройство для преобразования электрич. тока пром. частоты в электрич. ток УЗ частоты. Вместе с *излучателем ультразвука* используется в приборах для ультразвукового контроля процессов и испытания материалов, для исследования и облучения биологич. объектов, в установках для осуществления различных технологич. процессов (см. *Ультразвуковая технология*), в звуковизорах, гидролокаторах и др. устройствах.

В соответствии с областями применения У. л. г. подразделяют на две группы: 1) У. л. г. в измерит. приборах (в *ультразвуковых измерителях уровня*, приборах *ультразвуковой толщинометрии*, интерферометрах), к-рые для поддержания высокой стабильности частоты генерируемых колебаний выполняются по схеме *генератора с независимым возбуждением* (нагрузкой оконечного каскада обычно является пьезоэлектрич. преобразователь — пьезокварц, титанат-цирконат свинца и т. п., а в нек-рых спец. схемах генераторов для интерферометров колебат. контурами служат коаксиальные линии, нагруженные на пьезокварцевый излучатель); 2) У. л. г. в условиях, не требующих высокой стабильности по частоте, а поэтому выполняемые по схеме *генератора с самовозбуждением* с одной лампой, питаемой от нестабилизированного выпрямителя, часто без анодного фильтра.

Иногда У. л. г. второй группы выполняются по схеме двухтактных генераторов с питанием перем. пром. напряжением и для получения УЗ колебаний, модулированных частотой 100 *гц*. Нек-рые типы генераторов выполнены с независимым возбуждением, причем в качестве задающего использован *генератор на сопротивлениях и емкостях* с предварит. усилением мощности, а в качестве оконечного каскада — двухтактный каскад с трансформаторным выходом. У генераторов, предназначенных для исследоват. работы в лабораториях и пром-сти, предусматривается возможность изменения частоты в широких пределах либо с помощью *задающего устройства* (в схемах с независимым возбуждением), либо путем смены колебат. контуров (в схемах автогенераторов).

УЗ излучатели представляют для У. л. г. комплексную нагрузку, состоящую из активного и реактивного сопротивлений. Для эффективной работы У. л. г. его выходное сопротивление должно быть согласовано с сопротивлением нагрузки. Магнитострикционные излучатели из пермендюра, никеля или феррита низкоомны и обладают большим индуктивным сопротивлением. Для согласования их входа с выходом У. л. г. (рис. 1) применяют понижающие тр-ры с ферромагнитными сердечниками. К клеммам *1*, *2* подключается оконечный каскад задающего генератора с симметричным выходом, к клеммам *3*, *4* — источник питания для подмагничивания излучателя. Емкость C и индуктивность L являются разделительными, причем C препятствует замыканию источника пост. тока через выходной тр-р, а L — замыканию тока УЗ частоты через источник тока поляризации. Сопротивление C должно быть гораздо меньше, а сопротивление L — гораздо больше сопротивления излучателя.

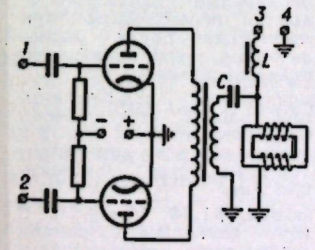


Рис. 1. Схема включения магнитострикционного излучателя в УЗ ламповый генератор.

Пьезоэлектрич. излучатели обладают реактивным сопротивлением в основном емкостного характера. Излучатели из пьезокварца высокоомны, вследствие чего их подключают либо непосредственно к колебат. контуру, либо через повышающий ВЧ тр-р. Излучатели из пьезокерамики — титаната бария, титанат-цирконата свинца и т. п.— низкоомны и обладают большой электрич. емкостью. Обычно их подключают через понижающий ВЧ тр-р с регулируемой связью. На рис. 2 представлена схема ВЧ автогенератора для питания излучателей из пьезокварца или пьезокерамики. В первом случае применен автотрансформаторный высокоомный выход (клеммы *1*, *3*), во втором — трансформаторный низкоомный выход с регулируемой индуктивной связью (клеммы *2*, *3*). Для облегчения режима работы цепей контура и преобразователя используется схема питания генератора с заземленным положит. полюсом. На рис. 3 представлена схема подключения пьезокварцевого излучателя непосредственно к колебат. контуру лампового генератора, питаемого от источника с заземленным отрицат. полюсом. В этом случае обычно посредством двух разделит. емкостей C_1 и C_2 предупреждают возможность поступления пост. напряжения источника питания на излучатель. Сопротивление разделит. емкостей должно быть гораздо меньше сопротивления излучателя. На рис. 4 пьезокварц подключён к генератору через ВЧ тр-р, генератор питается переменным током. Т. к. излучатели из пьезокерамики обладают электрич. емкостью, величина к-рой больше емкости колебат. контура, то для облегчения согласования сопротивления излучателя с сопротивлением генератора иногда применяются схемы включения пьезокерамич. излучателей непосредственно в цепь колебат. контура (рис. 5). В этом случае небольшая индуктивность L служит для передачи пост. напряжения на анод лампы. Подбором числа витков L можно настроить паралл. контур LC (C — емкость

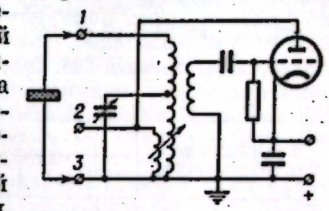


Рис. 2. Схема включения пьезокварцевого излучателя в УЗ ламповый генератор.

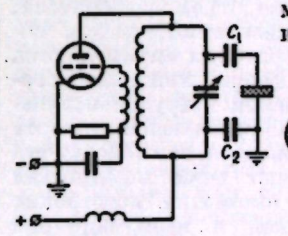


Рис. 3.

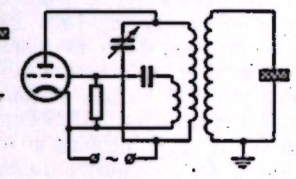


Рис. 4.

Рис. 3. Схема подключения пьезокварцевого излучателя непосредственно к колебат. контуру лампового генератора, питаемого от источника с заземленным отриц. полюсом.

Рис. 4. Схема подключения пьезокварцевого излучателя к ламповому генератору, питающемуся перем. током через ВЧ тр-р.

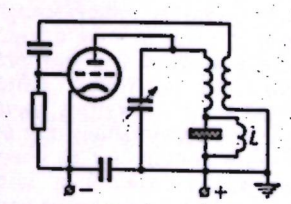


Рис. 5. Схема подключения пьезокерамич. излучателя в цепь колебат. контура УЗ лампового генератора.

излучателя) в резонанс, что неск. повысит эффективность работы излучателя. Если в генераторе применяется конденсатор с незаземленным ротором, то излучатель можно включить в емкостную ветвь контура; в этом случае отпадает необходимость подключать индуктивность L. Когда необходимо подать на излучатель пост. поляризующее напряжение, используют разделит. емкость и индуктивность, включаемые так же, как при питании магнитострикц. излучателя (см. рис. 1).

диапазоне гиперзвуковых частот создаются клистронными генераторами СВЧ, а излучателями являются пьезокварцевые стержни, возбуждаемые электрич. компонентами поля в волноводе или эндовибраторе. Излучатели нового типа из ПП пьезоэлектриков с резонансными частотами от десятков до сотен *Мгц* питаются от ВЧ генераторов, работающих, как правило, в импульсном режиме.

В таблице приведены основные типы УЗ технологич. генераторов.

Технические характеристики	Типы генераторов							
	УЗГ-1,5	УЗМ-3	УЗГ-10М	УЗГ-10У	УЗГ-6	УЗГ-2,5	УЗГ-2,5М	БАР
Потребляемая мощность (*квт*)	4	6,8	18	17,0	12,0	6,5	5	3
Мощность выходная (*квт*)	1,5	3	9	10,0	6,3	2,5	2,5	0,8
Пределы регулирования частоты (*кгц*)	15—30	15—30	18—24	18—22	18—22	18—22	18—22	6—100
Тип охлаждения	Воздушное	Воздушное	Водяное (10 *л/мин*)	Водяное (10 *л/мин*)	Водяное (6 *л/мин*)	Водяное (5 *л/мин*)	Воздушное	Воздушное
Тип преобразователей, поставляемых с генератором	—	—	ПМС-6	ПМС-6М	ПМС-6М ПМС-15А	ПМС-6М ПМС-7	ПМС-6М ПМС-7А	—
Макс. количество одновременно работающих излучателей	1	2	4	4	2	1	1	—
Габаритные размеры (*мм*)	603×660××1425	920×690××1450	790×780××1840	790×780××1840	790×725××1715	560×780××1400	600×775××1650	—
Вес (*кг*)	275	420	600	620	400	350	350	—

Для работы в газообразных средах часто служат резонансные электродинамич. преобразователи или динамич. громкоговорители. Эти преобразователи низкоомны, и для согласования их с генератором применяются понижающие тр-ры с ферромагнитными сердечниками. При изменении нагрузки излучателя или его темп-ры резонансная частота излучателя может измениться, что понизит его эффективность. Избегают этих последствий в У. л. г. с помощью автоматич. подстройки частоты, осуществляемой в цепи обратной связи, передающей через емкостный, индукц. или пьезоэлектрич. датчик сигнал с излучателя в управляющую частотой цепь генератора; в генераторе, питающем резонансный электродинамич. излучатель, автоподстройка частоты играет решающую роль, т. к. без нее излучатель не может работать сколько-нибудь продолжит. время из-за высокой механич. добротности (порядка 20 000).

В УЗ измерит. аппаратуре (дефектоскопах, расходомерах и др.) и в гидроакустич. приборах (эхолотах, гидролокаторах) используются генераторы, работающие в импульсном режиме. В этом случае схема У. л. г. дополняется импульсным генератором с модулятором. В нек-рых приборах, напр. дефектоскопах, излучатели питаются непосредственно от генератора импульсов; при этом затухающие колебания возникают за счет резонансных свойств преобразователей и колебат. контуров. Импульсные генераторы стали иногда применяться для питания излучателей в технологич. установках. Импульсный режим позволяет увеличить мгновенную плотность УЗ энергии (при неизменной средней мощности), что бывает целесообразно при проведении нек-рых технологич. процессов.

Для исследоват. целей служат гиперзвуковые частоты. Электромагнитные колебания в

Конструируются более экономичные У. л. г. на транзисторах мощностью до 150 *вт*, питающие излучатель с концентратором на частоте 20 *кгц*; преобразователем служит элемент из титаната-цирконата свинца. Разработаны опытные образцы генераторов мощностью 1—2 *квт* для частот порядка сотен *кгц*. При работе в «ключевом» режиме кпд этих генераторов достигает 90%.

В соответствии с решением междуведомственной комиссии по радиочастотам при Министерстве связи СССР от 27 авг. 1962 для УЗ установок пром. назначения с 1 января 1963 выделены следующие частоты:

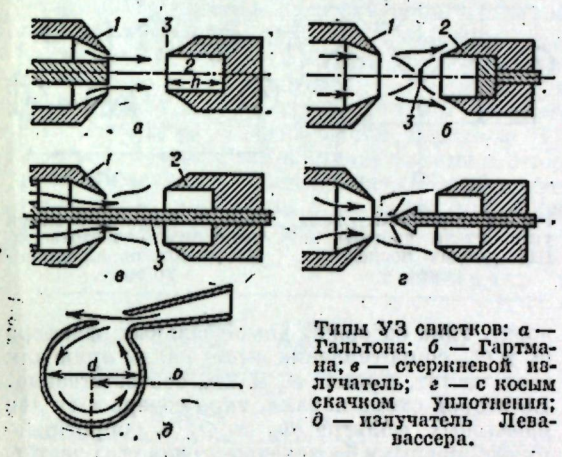
18 *кгц* ±7,5% 22 *кгц* ±7,5% 44 *кгц* ±10% 66 *кгц* ±12%	До разработки норм на индустриальные помехи разрешается использование при отсутствии помех радиослужбам, к-рые пользуются этими частотами
440 *кгц* ±2,5% 880 *кгц* ±1% 1760 *кгц* ±2,5%	Разрешается использовать при условии, что уровень поля радиопомех от ВЧ установок на расстоянии 150 *м* не будет превышать 200 *мкв*.
5280 *кгц* ±2,5% 300 *Мгц* ±1% 81,36 *Мгц* ±1%	Частоты 81,36 *Мгц* ±1% в зоне зеркального канала разрешается использовать при условии, что уровень поля радиопомех от ВЧ установок на расстоянии 50 *м* не будет превышать 50 *мкв*.

Лит.: Теодорчик К. Ф., Автоколебательные системы, 3 изд., М.—Л., 1952; Сиротюк М. Г., Согласование генератора электрических колебаний с кварцевым излучателем при непосредственном включении в контур генератора, в сб.: Применение ультразвука в промышленности, М., 1959; Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., 2 изд., М., 1957; Böhmel H., Dransfeld K., Excitation and attenuation of hypersonic waves in quartz, «Phys. Rev.», 1960, v. 117, № 5, p. 1245—52; White D. L., The depletion layer transducer, «IRE Trans. Ultrasonics Engng», 1962, v. UE-9, № 1, p. 21—27. *И. И. Каневский.*

УЛЬТРАЗВУКОВОЙ СВИСТОК (ultrasonic whistle; sifflet ultrasonique; Ultraschallpfeife) — источник упругих колебаний УЗ частоты, работа к-рого основана на возникновении автоколебат. процесса при взаимодействии струи газа или жидкости с препятствием в виде резонатора, снабженного острой кромкой. Газоструйный У. с. применяется для бесшумной сигнализации, автоматич. управления механизмами, в нек-рых технологич. процессах (см. *Ультразвуковая технология*). Сигнальный У. с. обычно имеет малую мощность и работает при малом давлении воздуха. Напр., в У. с. Гальтона (рис. *а*) воздух продувается через узкое кольцевое сопло *1*, перед к-рым расположен нож кольцеобразной формы *3*. Шум обтекания кромки ножа газовой струей усиливается резонансной камерой *2*. Частота излучения f такого У. с. определяется в основном глубиной резонирующей камеры h и коэфф. k, зависящим от давления воздуха, и может быть рассчитана по ф-ле:

$$f = V\sqrt{1+T/273}/[4\,(h+k)],$$

где V — скорость звука в используемом газе в *м/сек*, T — температура газа в °С, а коэффициент k в диапазоне давлений 0,003—0,04 *кг/см²* меняется в пределах от 7,3 до 4,7. Вихревой У. с. также работает при малом давлении воздуха; в нем пульсация струи возникает в результате закручивания потока в цилиндрич. камере. При высоком давлении воздуха работают различные модификации генератора Гартмана. Классический У. с. Гартмана (рис. *б*) имеет конич. сопло *1*, перед которым на расстоянии, определяемом диаметром сопла и давлением газа, расположен цилиндрич. резонатор *2*; причина возникновения релаксационных колебаний—осцилляции скачка уплотнения *3* в струе при периодич. наполнении и разгрузке резонирующей полости. Разновидностью У. с. Гартмана является стержневой излучатель (рис. *в*), в к-ром наличие центр. стержня *3* приводит к стабилизации работы, повышает кпд генератора и упрощает конструкцию. Разработанный в последние годы излучатель с косым скачком уплотнения (рис. *г*) также обладает указанными преимуществами стержневого У. с. и позволяет работать при сравнительно низких давлениях. Кпд У.с.Гартмана не превышает 5%, а у стержневых излучателей достигает 15—18%. Макс. частота излучения У. с. Гартмана, определяемая диаметром сопла d_c, рассчитывается по ф-ле $f_{макс} = 5860/d_c$ *гц*.



Типы УЗ свистков: *а* — Гальтона; *б* — Гартмана; *в* — стержневой излучатель; *г* — с косым скачком уплотнения; *д* — излучатель Левавассера.

При одинаковых размерах стержневой У. с. позволяет получить более высокие частоты излучения ввиду того, что наличие стержня сокращает период пространств. осцилляции струи. Т. к. для повышения частоты приходится уменьшать диаметр сопла, а следовательно, и энергию струи, с увеличением частоты мощность излучения падает, что следует из ф-лы:

$$W = 14{,}6\cdot 10^9/f^2\ \textit{вт}.$$

Поэтому для повышения мощности используются многосвистковые системы, содержащие целый ряд У. с., работающих на общий рупор. К У. с. высокого давления принадлежит излучатель Левавассера, представляющий тороидальную разновидность обычного губного свистка (рис. *д*). В нем цилиндрич. резонансная полость заменена тороидальной, а плоское сопло — круглой щелью. Для повышения кпд в таком У. с. применена вторичная (тоже тороидальная) камера. Частота излучения (равная собств. частоте резонатора) определяется диаметром сечения тороида d и его средним диаметром D: $f = K/d\sqrt{(D+d)/D}$, где K — коэффициент, зависящий от формы и размера щели.

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., 2 изд., М., 1957; Матаушек И., Ультразвуковая техника, пер. с нем., М., 1962; Гершгал Д. А., Фридман В. М., Ультразвуковая аппаратура, М.—Л., 1961. *Ю. Я. Борисов.*

УМНОЖЕНИЕ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА В КОЛЛЕКТОРНОМ ПЕРЕХОДЕ транзистора (multiplication of charge carriers at collector junction; multiplication des porteurs dans la transition à collecteur; Trägervervielfachung im Kollektorübergang). При обратном *смещении* коллекторного перехода транзистора практически все напряжение падает в области пространств. заряда, обедненной носителями и обладающей высоким сопротивлением (порядка 1 *Мом*). Ширина этой области зависит от уд. сопротивления исходного материала и приложенного напряжения и равна 10^{-3}—10^{-4} *см*. При напряжениях на переходе порядка десятков *в* напряженность электрич. поля в нем может достигать 10^5 *в/см*. В этом случае в области пространств. заряда перехода наблюдается эффект лавинного умножения носителей заряда, аналогичный эффекту *ионизации ударной*. Напряженность электрич. поля, соответствующая началу умножения, наз. критической и равна $E_{кр} \simeq 5\cdot 10^4$ *в/см*.

Лавинное умножение характеризуется коэфф. умножения

$$M = \frac{1}{1-\int_0^h \alpha_i\,dx}, \qquad (1)$$

где α_i — скорость ионизации, h — ширина перехода. Было получено более удобное для практич. расчетов выражение:

$$M = \frac{1}{1-(U_к/U_{проб})^n}, \qquad (2)$$

где $U_к$ — напряжение, приложенное к переходу, $U_{проб}$ — напряжение лавинного пробоя (для различных типов транзисторов находится в пределах 1—300 *в*).

В силу того что скорость ионизации дырками выше, чем электронами, показатель степени n различен; напр., для германиевых

транзисторов с $p-n-p$-структурой $n=3$, а с $n-p-n$-структурой $n=6$.

Время развития лавинного процесса в коллекторном переходе очень мало ($\sim 10^{-8}$—10^{-9} *сек*); поэтому даже весьма кратковрем. превышение предельно допустимых значений коллекторного напряжения может привести к пробою перехода.

Лавинное умножение носителей в $p-n$-переходе имеет место при уд. сопротивлениях исходного материала $\rho \geqslant 0{,}05$ *ом·см*, т. е. практически во всех транзисторах. В $p-n$-переходах, изготовленных на основе ПП с $\rho \leqslant 0{,}05$ *ом·см* и имеющих ширину области пространств. заряда $\simeq 10^{-6}$ *см*, лавинное умножение отсутствует и пробой объясняется туннельным механизмом прохождения носителей заряда через барьер. Такое различие в механизме пробоя объясняется тем, что в широких переходах носители заряда успевают приобрести энергию, достаточную для ионизации, а в узких — не успевают.

Явление лавинного У. п. з. в к. п. существенно сказывается на таких важнейших параметрах транзистора, как величина коэфф. усиления по току, обратный ток перехода, наибольшие напряжения между коллектором и базой (эмиттером) и т. п. Напр., коэфф. усиления по току возрастает в M раз:

$$\alpha = \alpha_0 M, \qquad (3)$$

тогда как это возрастание в области напряжений, далеких от пробивных, незначительно.

Лит.: Вул Б. М., Шотов А. П., «РиЭ», 1956, т. 1, № 8; Пилсавский Ю. В., в кн.: Полупроводники в науке и технике, т. 2, М.—Л., 1958, с. 75; Miller S. L., «Phys. Rev.», 1955, v. 99, № 4, p. 1234; его же, там же, 1957, v. 105, № 4, p. 1246.

А. Ф. Трутко.

УМНОЖИТЕЛЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ (semiconductor multiplier; multiplicateur à semi-conducteurs; Halbleitervervielfacher) — устройство на ПП диодах для повышения частоты поступающих электрич. колебаний в целое число раз, используемое в технике СВЧ. Цепочка диодных У. п. с кварцованным возбудителем имеет бо́льшую стабильность частоты и меньшие шумы, чем клистронный генератор, а также позволяет повысить частотный предел транзисторных генераторов, к-рые совместно с цепочкой диодных У. п. перекрывают весь диапазон СВЧ от 0,5 до 20 *Ггц* с выходной мощностью более 0,1 *вт*.

Для генерирования гармоник могут быть использованы два вида нелинейных зависимостей, к-рые имеются у ПП диодов,— вольтамперная хар-ка $I(U)$ и вольтфарадная хар-ка $C(U)$: точечные диоды с прижимным контактом близки к нелинейным сопротивлениям; плоскостные диоды с резким или плавным $p-n$-переходом (сплавные или диффузионные) близки к нелинейным емкостям.

Три теоремы определяют при использовании указанных нелинейных элементов максимально возможное значение коэфф. преобразования η_n мощности основной частоты P_1 в мощность n-й гармоники P_n. Для положит. нелинейного сопротивления из теоремы Пейджа следует, что $\eta_n = P_n/P_1 \leqslant 1/n^2$. В случае отрицат. нелинейного сопротивления (напр., туннельный диод), согласно Пантеллу, η_n может превышать $1/n^2$ за счет одноврем. регенеративного усиления n-й гармоники. Для нелинейной реактивности без потерь очевидно, что в случае умножения частоты $\sum_1^n P_n = 0$.

Это, в сущности, запись закона сохранения энергии, что и выражают известные соотношения Менли — Роу для случая умножения частоты на нелинейной реактивности ($\eta_n \leqslant 1$). Ограничение на величину η_n в этом случае налагается добротностью нелинейного реактивного элемента и схемой У. п.

Возможные схемы У. п. (напр., для $n=2$) приведены на рис. 1 и 2. Первая схема последоват. типа содержит два идеальных фильтра Φ_1 и Φ_2, сопротивления к-рых равны нулю для всех частот, кроме ω_0 и $2\omega_0$ соответственно. Во второй схеме паралл. типа содержится два идеальных фильтра Φ_3 и Φ_4 с сопротивлениями, равными бесконечности для всех частот, кроме ω_0 и $2\omega_0$ соответственно. Расчет У. п. сводится к определению зависимости η, $P_{вх}$, $R_{вх}$ и $R_{нагр}$ от параметров умножит. диода и выбору оптим. режима. Чаще используется схема паралл. типа, обладающая тем преимуществом, что в ней через диод протекает только две компоненты тока; омические потери в ней меньше, чем в схеме последоват. типа. Значит. увеличение η_n для У. п. с $n>2$ достигается путем выбора таких схем, в к-рых мощность нежелательных (на выходе) гармоник преобразуется в полезную мощность заданной гармоники. Процесс непосредств. умножения частоты дополняется процессом смешения (параметрич. преобразования) на нелинейной реактивности. В схему У. п. вводятся дополнит. настраиваемые контуры для определ. гармоник (холостые частоты). Такие многоконтурные У. п. позволяют сократить число каскадов в умножит. цепочках.

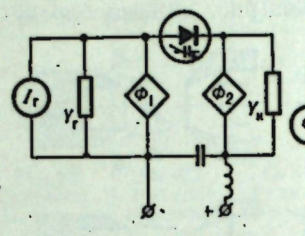


Рис. 1. Принцип. схема умножителя частоты на ПП диодах последоват. типа.

Рис. 2. Принцип. схема умножителя частоты на ПП диодах параллельного типа.

В диапазоне частот до 300 *Мгц* У. п. выполняются на контурах с сосредоточ. постоянными или на малогабаритных коаксиальных резонаторах со спиральным внутр. проводником. У. п. СВЧ диапазона по конструктивному выполнению делятся на коаксиальные, полосковые, волноводнокоаксиальные и волноводные. Для определения η и $P_{вх}$ У. п. на барьерной емкости диодов с резким $p-n$-переходом можно использовать приближенные ф-лы: $\eta = e^{-\alpha(\omega_{вых}/\omega_{кр})}$; $R_{вх} \approx A/\omega_0 C_{мин}$; $P_{вх} \approx \beta(U_{пр}+\varphi)^2 C_{мин}\omega_0$; $R_{нагр} \approx B/\omega_0 C_{мин}$, где $\omega_{кр} = 1/R_s C_{мин}$; $C_{мин}$ соответствует пробивному напряжению $U_{пр}$; φ — высота потенциального барьера (для кремниевых диодов $\simeq 0{,}5$ вольта); R_s — последоват. сопротивление потерь в диоде.

Коэфф. α, β и A, B для различных У. п. (в том числе и многоконтурных) с оптимальным η приведены в табл. 1.

Таблица 1

Номер гармоники	α	β	A	B
×2	9,95	0,0277	0,08	0,136
×3	11,6	0,0241	0,137	0,0615
×4 (1, 2, 3, 4) . .	11,4	0,0226	0,096	0,0625
×5 (1, 2, 4, 5) . .	18,6	0,018	0,136	0,0418
×6 (1, 2, 4, 6) .	16,6	0,022	0,117	0,0225
×8 (1, 2, 4, 6, 8)	14,9	0,0248	0,14	0,0251

Значит. увеличение допустимой для диода входной мощности и соответственно выходной мощности гармоники достигается при работе диода в режиме частичного отпирания $p-n$-перехода (захода в область прямой проводимости). В табл. 2 приведены значения коэфф. α, β, A и B для удвоителей частоты с резким и плавным $p-n$-переходом (при $\omega_{вых} < 0{,}1\,\omega_{кр}$) в случае обычного режима (II) и режима с отпиранием перехода (I). Из табл. 2 видно, что в случае режима с отпиранием перехода оба вида диодов обеспечивают одинаковые параметры удвоителя (при одинаковой добротности диодов).

Таблица 2

Коэфф.	Режим работы	Резкий переход	Плавный переход
α	I	7,5	7,0
	II	9,95	12,8
β	I	0,0680	0,0680
	II	0,0277	0,0118
A	I	0,100	0,110
	II	0,080	0,0604
B	I	0,164	0,170
	II	0,136	0,102

Важной хар-кой У. п. на нелинейной емкости является полоса пропускания, определяющая также фазовую стабильность. Для величины произведения оптим. коэфф. преобразования мощности на относит. полосу пропускания существует предел, определяемый параметрами диода:

$$\eta_n \frac{\Delta f}{f} = \sqrt{b_n^2 + (\omega_0 C_{мин} R_s)^2} - \omega_0 C_{мин} R_s,$$

где b_n — коэфф., зависящий от нелинейности вольткулоновой хар-ки. Это произведение является максимально возможным пределом для наилучшей конструкции двухконтурного У. п. Полоса пропускания У. п. составляет 1—2% при $\eta > 0{,}5$. Широкополосные У. п. со спец. фильтрами имеют полосы порядка 5—10%, но низкий η.

Кроме обычных сплавных и диффузионных диодов с нелинейной емкостью, для умножения частоты используются спец. диоды с накоплением заряда (с резким восстановлением обратного сопротивления), позволяющие получить на выходе У. п. мощности порядка 10—100 *вт* в диапазоне 50—450 *Мгц*, а также являющиеся эффективными генераторами высоких гармоник ($n \sim 20$—40).

Параметры наилучших У. п. на ПП диодах с нелинейной емкостью характеризует табл. 3.

Таблица 3

Диапазон частот (*Ггц*)	η_n	$P_{вых}$ (*вт*)
0,05—0,5	0,8—0,9	10—100
0,5—1,5	0,7—0,8	1—5
1,5—3	0,5—0,6	0,5—3
3—10	0,2—0,4	0,1—1
15—30	0,1—0,3	0,01—0,2

У. п. этого типа применяются в качестве гетеродинов приемников, генераторов накачки параметрич. усилителей, бортовых телеметрич. передатчиков (для искусств. спутников Земли, орбит. астрономич. станций, управляемых реактивных снарядов), возбудителей электронных передатчиков доплеровских радиолокац. систем и т. п.

У. п. строятся также на транзисторах. В них умножение частоты усиленного сигнала происходит на нелинейной емкости коллекторбаза.

Лит.: Каусов С. Ф., Лившиц В. В., Рабинович-Визель А. А., в сб.: Полупроводниковые приборы и их применение, под ред. Я. А. Федотова, вып. 6, М., 1960; Вальд-Перлов В. М., там же, вып. 11, М., 1964, с. 59—70; Красноголовый Б. Н., там же, с. 71—110; Лившиц В. В., Рабинович-Визель А. А., «РиЭ», 1963, № 12; Фэйрли Д. О., «Электроника» (США), рус. пер., 1963, т. 36, № 41.

А. А. Визель.

УМНОЖИТЕЛЬ ЧАСТОТЫ (frequency multiplier; multiplicateur de fréquence; Frequenzvervielfacher) — устройство с электронной лампой или ПП прибором для повышения частоты электрич. колебаний в целое число раз. У. ч. является частным случаем нелинейного *четырехполюсника* активного типа. У. ч. широко применяются в радиопередающих КВ и УКВ устройствах, в эталонах частоты и времени для умножения частоты высокостабильного *генератора задающего*. Одновременно У. ч. позволяет сократить число каскадов, работающих на одной и той же частоте, что повышает устойчивость тракта по отношению к паразитному самовозбуждению и уменьшает реакцию оконечного каскада на задающий генератор, тем самым стабилизируя частоту его колебаний. Кроме того, У. ч. обеспечивает широкий диапазон частот на выходе тракта при сравнительно узком диапазоне частот самого задающего генератора. У. ч. используется для удвоения, реже — для утроения и учетверения частоты.

По электрич. схеме У. ч.— *генератор с независимым возбуждением*, колебат. контур в анодной цепи к-рого настраивается на частоту, в целое число раз большую, чем частота подводимого напряжения. Для миним. реакции анодного напряжения на сеточный ток и ток эмиссии катода электронной лампы в каскаде У. ч. служат тетроды или пентоды, работающие в недонапряженном или критич. режиме (см. *Генератора режимы работы*). Выбор оптим. угла отсечки при этом производится исходя из получения макс. значения коэфф. разложения для требуемой гармоники анодного тока лампы: $\theta_{макс} = 120°/n$, где n — номер гармоники анодного тока лампы. Вторая гармоника анодного тока будет иметь макс. значение при угле отсечки 60°, а третья гармоника — при угле отсечки 40°. Макс. значение коэфф. разложения импульса анодного тока для n-й гармоники при этом получается в n раз меньшим, чем для первой гармоники анодного тока: $\alpha_{1\,макс} = 0{,}55$; $\alpha_{n\,макс} = \alpha_{1\,макс}/n$.

Макс. мощность $P_{n\,макс}$, к-рая достигается при умножении приблизительно в n раз, меньше

мощности, получаемой при усилении колебаний $P_{1\text{ус}}$: $P_{n\,\text{макс}} \approx \frac{1}{n} P_{1\,\text{ус}}$.

Расчет У. ч. на тетроде или пентоде аналогичен расчету генератора с независимым возбуждением на заданную мощность P_0, но отличается тем, что колебат. мощность на выходе каскада У. ч. значительно ниже, кпд меньше (не более 50—60%), а мощность, рассеиваемая на аноде, значительно больше, чем у генератора с независимым возбуждением. Уже в режиме удвоения лампа работает с более высоким напряжением возбуждения, вследствие чего возрастает мощность, расходуемая в цепи управляющей сетки лампы. В режиме утроения и тем более учетверения частоты лампа У. ч. работает в еще более тяжелых условиях. Поэтому У. ч. применяется в качестве промежуточных маломощных каскадов в трактах передатчиков и эталонов частоты и времени, где вопросы кпд не играют существенной роли. Для подавления нежелат. гармоник анодного тока колебат. контур в анодной цепи У. ч. должен обладать высокой нагруженной добротностью. Повышение избирательности У. ч. (при одноврем. повышении выходной мощности) может быть получено с помощью балансных схем, т. е. *двухтактной схемы* или *двукратной схемы*. У двухтактного У. ч. отсутствуют на его выходе все четные гармоники частоты выходного сигнала и поэтому он служит как утроитель или упятеритель частоты. Двукратный У. ч., на выходе к-рого нет нечетных гармоник входной частоты, служит для удвоения или учетверения частоты.

За последнее время получили распространение У. ч. на ПП, обладающие рядом особенностей (см. *Умножитель полупроводниковый*).

Лит.: Дробов С. А., Радиопередающие устройства, 2 изд., М., 1951; Модель З. И., Радиопередающие устройства, [3 изд.], М., 1961.

Ю. Б. Любченко.

УНИВЕРСАЛЬНАЯ ЦИФРОВАЯ МАШИНА, цифровая машина широкого назначения (universal digital computer; machine numérique universelle; universeller Digitalrechner), — вычислит. машина дискретного действия, предназначенная для решения большого класса задач, состав к-рых при ее разработке не конкретизируется. Используется в вычислит. центрах, осуществляющих централизов. решение задач по заказам извне, в конструкторских бюро для расчетных работ по проектированию сложных систем, в н.-и. ин-тах и т. д., а также для решения различных логич. задач и для управления сложными агрегатами и целыми системами.

Характерные особенности У. ц. м.: 1) наличие ЗУ, способных принимать, хранить и выдавать в различные устройства машины программу решения задач, исходные данные и результаты решения (в отличие от специализированных машин, в к-рых широко используется жесткая коммутация программ и констант). ЗУ строятся по иерархич. принципу и включают в себя обычно три уровня: а) *запоминающие устройства оперативные* (ОЗУ) ограниченной емкости с высоким быстродействием, используемые для хранения программы и информации, непосредственно участвующей в данном этапе вычислений. ОЗУ допускает обращение к любой ячейке по адресу или ассоциативному признаку. Большинство ОЗУ обеспечивает временну́ю равноценность всех своих ячеек по записи или выбору информации. Время обращения к любой ячейке для таких ОЗУ не зависит от ее местоположения и предыдущих обращений (произвольный доступ); б) *запоминающие устройства внешние* (ВЗУ) большой емкости, превышающей емкость ОЗУ более чем в 50—100 раз. Запись и считывание данных ведется группами, размещенными в отдельных зонах. Обращение к отдельным ячейкам зоны, как правило, не предусматривается. Время отыскания нужной зоны зависит от ее адреса и от положения зоны, к к-рой обращались ранее. ВЗУ служат для хранения массивов информации, непосредственно не обрабатывающейся на данном этапе вычислит. процесса; в) *запоминающие устройства буферные* (БЗУ) играют вспомогат. роль при передаче информации с ВЗУ или с внешних источников в ОЗУ и обратно. Служат для согласования скоростей медленно действующих электромеханич. устройств ввода — вывода и ВЗУ с ОЗУ и др. быстродействующими устройствами. Емкость БЗУ обычно в 2—10 раз превышает емкость ОЗУ.

Иерархичность ЗУ позволяет У. ц. м. удобно приспосабливаться к разнообразнейшим задачам с широким диапазоном количества участвующей в решении информации и различными объемными соотношениями между программами решения задач, исходными данными, промежуточными величинами и окончат. результатами. Поскольку время обращения к ЗУ во многом определяет быстродействие всей машины, существует тенденция к дальнейшему функцион. расслоению ЗУ У.ц.м. с выделением спец. сверхоперативных ЗУ.

2) Широко развитая система связи машины и человека, обеспечивающая удобство ввода и вывода информации, облегчение отладки программ, а также оперативное воздействие оператора на вычислит. процесс. Перспективно создание устройств ввода, осуществляющих съем данных в машинописной или даже в рукописной и графич. формах, а также устройств для дистанц. ввода информации по каналам связи (напр., по обычным каналам телефонной связи). Отладка рабочих программ, текущий контроль за ходом решения задачи и воздействие на вычислит. процесс У. ц. м. ведутся с пульта управления машины. Перспективны т. н. интерпретируемые пульты управления, все регистры к-рых могут изменять свое функцион. назначение в зависимости от установок, даваемых оператором перед решением задачи. У.ц. м., допускающие параллельную обработку многих несвязанных между собой программ, имеют несколько пультов управления, позволяющих одновременно нескольким операторам поддерживать связь с машиной.

3) Разветвленная система команд, обеспечивающая удобство программирования и быстроту решения задач. Реализацию любого алгоритма можно осуществить с помощью трех (сложение, сдвиг и условный переход) или даже двух (сложение и условный переход) операций (предполагается достаточно большой объем ЗУ). В связи с этим любую цифровую машину, позволяющую выполнять эти операции (соответствующие им команды), можно назвать универсальной. Однако такой огранич. набор кодируемых операций затрудняет подготовку программ, увеличивает ее объем и существенно снижает производительность. Поэтому

У.ц.м., предназначенные для массового и разностороннего использования, обладают широкими наборами операций, упрощающими подготовку и решение задач. Любая У. ц. м. выполняет четыре группы операций или соответствующих им команд: арифметические (сложение, вычитание, умножение, деление), логические (сравнение, формирование, сдвиг, выделение части числа), управления (условный переход, безусловный переход, остановка машины) и передач [перепись информации из ВЗУ в ОЗУ, перепись информации из ОЗУ в ВЗУ, обмен информацией между БЗУ и ОЗУ (ВЗУ), ввод данных в машину, вывод информации из машины, обмен данными между ОЗУ и рядом регистров]. Кроме того, У. ц. м. выполняют операции, являющиеся большей частью либо нек-рой разновидностью рассмотренных (напр., сложение с блокировкой нормализации, сравнение чисел по абс. величине, передача управления с запоминанием адреса команды и т. д.), либо нек-рыми спец. операциями, характерными для той или иной конкретной машины (напр., операция заполнения *А*-регистра по фиксатору на машине «Киев»).

Общее число команд для У. ц. м.— порядка нескольких десятков, а с учетом их модификаций — даже более сотни. Однако составление программ на внутр. языке машины — весьма трудоемкий процесс, требующий хорошего знания особенностей выполнения всех операций на данной машине. Поэтому наблюдается тенденция к унификации внешних языков У. ц. м. и приближения их к алгоритмическим. Нек-рое упрощение процесса подготовки задач к решению дает введение т. н. псевдоопераций, позволяющих одним кодом команды задавать вычисление весьма сложных зависимостей. Псевдооперации автоматически с помощью спец. устройств расчленяются на элементарные операции машины. В У. ц. м. псевдокод присваивается наиболее распространенным ф-циям и процедурам (напр., $\log x$, e^x, $\operatorname{arctg} x$, перевод чисел из одной системы счисления в другую и т. д.). Перспективно построение У. ц. м. с универс. внешним языком, совпадающим по своей структуре с тем или иным алгоритмич. языком. Преобразование программы, заданной на алгоритмич. языке в машинную программу, может происходить при этом автоматически с помощью спец. программ или устройств. Напр., в универс. машине В-5000 (США) программа решения вводится на языках *алгол* и *кобол*.

Наиболее важные параметры У. ц. м.: скорость выполнения операций, определяющая номинальное быстродействие машины; состав, емкость и быстродействие каждого типа ЗУ; системы счисления, к-рые используются машиной в различных ее трактах; разрядность машин, определяющая машинную точность представления чисел, способ кодировки числовой и буквенной информации; адресность команд.

Обобщенным параметром У. ц. м. является ее эффективность, определяющая экономичность и производительность машины. Эффективность можно оценить след. величинами (предложены В. М. Глушковым): эффективным быстродействием и ценой эффективного быстродействия. Эффективное быстродействие $n_э$ — это усредненное быстродействие машины при решении реальных задач с учетом таких факторов, как обмен информацией с внешними устройствами, затраты времени на контроль правильности вычислений, потери за счет сбоев машины и т. д. Если под номинальным быстродействием $n_н$ понимать ср. число операций, выполняемых электронной частью машины за единицу времени (принято = за 1 сек.) при бессбойной работе, то $n_э = p n_н$, $p < 1$, где $p = p_0\, p_м p_в p_к p_п$. Здесь p_0 — коэфф., отражающий эффективность набора операции данной У. ц. м. относительно нек-рого условного универс. набора; $p_м$ — коэфф., учитывающий снижение скорости работы машины за счет обращений к таким медленно действующим устройствам, как ВЗУ и БЗУ; $p_в$ — коэфф., характеризующий влияние системы ввода — вывода; $p_к$ — коэфф., учитывающий потери времени на программный контроль правильности вычислений; $p_п$ — коэфф., отражающий уд. в. времени, в течение к-рого машину используют для решения задач или отладки программ. Трудность количеств. оценки этих коэфф. для У. ц. м. обусловлена тем, что характер задачи и частота их решения на машине заранее не известны. Кроме того, заранее весьма трудно оценить хар-ки надежности машины, влияющие на $p_к$ и $p_п$. Поэтому указанной ф-лой можно пользоваться при оценке эффективности быстродействия уже работающей машины за какой-то довольно длительный промежуток времени. Априорное определение можно производить лишь весьма приближенно на базе статистич. данных, полученных на других У.ц. м., эксплуатирующихся в аналогичных условиях. Оценку эффективного быстродействия проектируемой У. ц. м. при наличии необходимых статистич. хар-к удобно вести с помощью математич. моделирования ее работы на реальной У. ц. м.

Цена эффективного быстродействия определяет затраты на построение и эксплуатацию машины относительно ее производительности. Для получения цены эффективного быстродействия подсчитывают в денежном выражении сумму $F(t)$ затрат на эксплуатацию машины в течение нек-рого довольно большого времени (расходы на электроэнергию, на зарплату обслуживающему персоналу, на амортизацию, на приобретение и на установку машины). Промежуток времени T выбирают порядка 10 лет, точнее же он равен времени морального старения машины. Эту сумму делят на эффективное количество операций, выполняемых за время T, и получают усредненную стоимость одной эффективной операции, к-рая и является мерой цены эффективного быстродействия. Определяемая т. о. эффективность У. ц. м. есть усредненный параметр по всей совокупности решаемых задач в целом. Эффективность машины для каждой задачи может существенно отличаться от усредненного значения. Оптимальной можно считать машину, эффективность к-рой для любой задачи будет максимальной. В связи с этим представляются перспективными У. ц. м. с изменяемой структурой, приспосабливаемой к тому или иному типу задач (изменяемая система команд, интерпретируемые пульты, гибкие связи между блоками, перем. состав и функцион. роль различных регистров и т. д.). Предельным случаем универсальности машины являются однородные вычислит. среды с произвольными связями и возможностью оперативной переорганизации ее элементов применительно к

Основные характеристики универсальных

Название машины	Вычислит. мощность (класс)	Номинальное быстродействие (операций в сек.)	Состав и параметры ЗУ	Система счисления
ИБМ-7030 («Стретч») (США)	Вычислит. система большой мощности	~1—2 млн.	ОЗУ — на магнитных сердечниках, до 262 144 слов, многоступенчатое, миним. время обращения 0,2 *мксек* ВЗУ — до 32 каналов (на каждый канал до 8 магнитофонов)	Двоичная
«Атлас» (Англия)	»	~500 тыс.	ОЗУ — на магнитных сердечниках, до 262 144 слов, многоступенчатое, миним. время обращения 0,5 *мксек* ВЗУ — до 36 блоков восьмиканальной ленты БЗУ — до 16 магнитных барабанов в вертик. конструкции по 24 576 слов	»
«Univac Ларк» (США)	»	~250 тыс.	ОЗУ — на магнитных сердечниках, до 97 500 слов, время обращения 4 *мксек* ВЗУ — на магнитных лентах БЗУ — до 24 магнитных барабанов по 250 000 слов	Десятичная
ИБМ-7090 (США)	УЦМ большой мощности	~150—200 тыс.	ОЗУ — на магнитных сердечниках, 32 768 слов ВЗУ — на магнитных лентах, до 80 блоков двух типов, скорость считывания 2500 слов/сек. и 10 000 слов/сек.	Двоичная
«Univac-1107» (США)	»	~200 тыс.	ОЗУ — многоступенчатое; на магнитных пленках—128 слов, время обращения 0,6 *мксек*; на магнитных сердечниках — до 65 536 слов	»
М-20 (СССР)	УЦМ средней мощности	~20 тыс.	ОЗУ — на магнитных сердечниках, 4096 слов, время обращения 6 *мксек* ВЗУ — 4 блока магнитных лент по 75 000 слов БЗУ — 3 магнитных барабана по 4096 слов	»
БЭСМ (СССР)	»	~10 тыс.	ОЗУ — на магнитных сердечниках, 2048 слов, время обращения 10 *мксек* ВЗУ — 4 блока магнитных лент по 30 000 слов БЗУ — 2 магнитных барабана по 5120 слов	»
ИБМ-7070 (США)	»	~10 тыс.	ОЗУ — на магнитных сердечниках, до 10 000 слов, время обращения 6 *мксек* ВЗУ — до 50 блоков магнитной ленты	Двоично-кодированная десятичная
«Раздан» (СССР)	УЦМ малой мощности	~5 тыс.	ОЗУ — на магнитных сердечниках, 2048 слов ВЗУ — на магнитной ленте, 120 000 слов	Двоичная
«Наири» (СССР)	»	~2 тыс.	ОЗУ — на магнитных сердечниках, 1024 слова ДЗУ — на магн. сердечниках, 16384 слова	»
НЕАК-2201 (Япония)	»	~200	ОЗУ — на магнитном барабане, 1000 слов	Двоично-кодированная десятичная

решаемой задаче или при выходе из строя к.-л. звена. Наиболее легко такую однородность можно реализовать на уровне вычислит. блоков или устройств. Хороший эффект могут дать и полиморфич. универс. структуры, предполагающие набор различных функцион. блоков, оптимальный состав к-рых и их связи в каждом случае обеспечиваются спец. коммутирующим устройством.

По вычислит. возможности У. ц. м. делят на малые, средние и большие (таблица). Кроме того, выделяют класс мощных вычислит. систем. К малым У. ц. м. относятся машины с объемом ОЗУ до 4096 ячеек, ВЗУ — 100—600 тыс. полноразрядных слов со средним номин. быстродействием до 5000 операций в сек. Система ввода — вывода в основном однокональная с перфолент (перфокарт) или непосредственно с телетайпа (пишущей машинки).

Средние У. ц. м. имеют объем ОЗУ порядка 4096—8192 ячеек, ВЗУ — свыше 500 тыс.—2 млн. слов. Как правило, содержат БЗУ. Среднее номин. быстродействие 10—30 тыс. операций в сек. Разветвленный ввод с перфокарт, перфолент. Возможна дистанц. связь по одному-двум каналам. Вывод — на перфоленты и перфокарты, на широкий лист в виде графиков, печатного текста и т. д.

Большие У. ц. м. имеют емкость ОЗУ порядка десятков тыс. ячеек, ВЗУ—порядка нескольких млн. слов. Содержат разнообразные БЗУ. Среднее быстродействие до 200—300 тыс. операций в сек. Имеется возможность одновременного и независимого решения нескольких задач. Широко развита многоканальная система ввода — вывода с большим числом вспомогат. оборудования. Предусматривается возможность дистанц. обмена информацией.

Универс. вычислит. системы представляют собой конструктивное объединение нескольких вычислит. машин с различным функцион. назначением, разветвленной системой ОЗУ (с общей емкостью порядка нескольких сотен тыс. ячеек), большим числом параллельно работающих ВЗУ (общей емкостью порядка сотен млн. слов), системой прерывания программ и мультипрограммным управлением. Для системы характерна возможность совместной

цифровых машин различных классов

Принцип прохождения информаций	Способ кодировки чисел	Адресность	Разрядность	Количество одновременно выполняемых программ	Примечания
Параллельный или последовательный	С фиксированной и плавающей запятыми	1 или 2	64 двоичных разряда	до 34	Оперирует с полями перем. длины
Параллельный	»	1	48 двоичных разрядов	до 8	Внешние устройства работают независимо и управляются автономными подпрограммами
»	»	1	12 десятичных разрядов	—	Предусмотрена возможность изменения структуры включением дополнит. устройств
»	»	1	36 двоичных разрядов	до 9	Может работать в реальном масштабе времени
»	С плавающей запятой	1	36 двоичных разрядов	—	Программу можно задавать на языках кобол, алгол и фортран
»	»	3	45 двоичных разрядов	1	Построена на динамич. элементах
»	»	3	39 двоичных разрядов	1	—
Последовательный для десятичных разрядов и параллельный для двоичных	С фиксированной и плавающей запятыми	1	10 десятичных разрядов	до 8	Операции могут производиться над любой частью слова
Параллельный	С плавающей запятой	2	36 двоичных разрядов	1	—
»	С фиксированной запятой	2	36 двоичных разрядов	1	Микропрограммное управление
—	»	1 и 1,5	—	1	—

работы с др. машинами, разветвленная система ввода — вывода информации (различные перфораторы и читающие устройства, ручные коммутаторы, печатающие машинки, телефонная и телеграфная аппаратура, графич. приборы и т. д.), большие возможности изменения состава осн. и вспомогат. оборудования, широкая автоматизация программирования. Ср. номинальное быстродействие — до нескольких млн. операций в сек.

В качестве перспектив развития универсальных вычислит. систем можно указать на комплексное использование большого количества машин, объединенных общей системой связи, вплоть до создания единых универсальных информац.-вычислит. комплексов крупных районов и даже общегос. информац. сетей.

Лит.: Бухгольц У., Некоторые замечания по проекту вычислительной машины СТРЕТЧ, в кн.: Кибернетический сборник. Сб. переводов, [№] 2, М., 1961; Вавилова А. С., Жевелева И. С., Электронные вычислительные машины за рубежом, М., 1962; Глушков В. М., Ющенко Е. Л., Вычислительная машина «Киев», Киев, 1962; Глушков В. М., Два універсальні критерії ефективності обчислювальних машин, «ДАН УРСР», 1960, № 4; Евреинов Э. В., Косарев Ю. Г., О возможности построения вычислительных систем высокой производительности, 2 изд., Новосибирск, 1963; Лебедев С. А., Мельников В. А., Общее описание БЭСМ и методика выполнения операций, М., 1959.

И. А. Данильченко.

УОЛТЕРА ЧЕРЕПАХИ [Walter's turtles; tortues de Walter (tortues cybernétique); Walter'sche Schildkröten] — самодвижущиеся электромеханич. устройства, разработанные англ. физиологом Г. Уолтером и несколько напоминающие по форме черепах. У. ч. позволяют воспроизводить различные виды поведения: движение на свет или от него, обход препятствия, поисковые движения, заход в «кормушку» для подзарядки разрядившихся аккумуляторов и т. п.

Известны 3 «черепахи», сконструированные Г. Уолтером,— «машина-спекулатрикс» (разумная машина), называемая также «Эльмер» по начальным буквам выражения «Electro-mechanical robot» (электромеханич. робот), «Эльзие» — «Elektro-Lichtsensitiv mit interner und externer Stabilität» (электрическая светочувствительная с внутренней и внешней устойчивостью) и «Кора» — «Conditional reflex automat» (автомат условного рефлекса). «Эльмер» и «Эльзие» представляют собой трехколесные повозки, приводимые в движение электродвигателем, питающимся от аккумулятора. Другой электродвигатель предназначен для вращения рулевой колонки. Чувствит. элементами служат фотоэлемент, размещенный в верхней части рулевой колонки и поворачивающийся вместе с поворотом рулевого колеса, и механич. контакт, замыкающийся при наезде на препятствие. Принцип. электрич. схема «Эльмера» дана на рис. 1. Схема отрегулирована таким образом, что низкий потенциал анода лампы $Л_1$ запирает вторую лампу $Л_2$, перебрасывая при этом реле P_2 так, что исключается возможность одновременного нахождения под током обоих реле P_1 и P_2. Если фотоэлемент *Фэ* не освещен, то лампа $Л_1$ заперта, а $Л_2$ открыта. При умеренном освещении фотоэлемента $Л_1$ приоткрывается, однако проводимый ею ток недостаточен для срабатывания P_1, хотя уменьшение напряжения на ее аноде достаточно для отпускания реле P_2. Дальнейшее увеличение освещенности *Фэ* («ослепление») ведет к срабатыванию реле P_1 (реле P_2 остается отпущенным). Замыкание механич. контакта *в* превращает схему в мультивибратор, осуществляющий поперем. включение и выключение реле P_1 и P_2 с нек-рой частотой. Поведение У. ч. в зависимости от внешних «раздражений» и, следовательно, от состояний реле можно охарактеризовать табл.

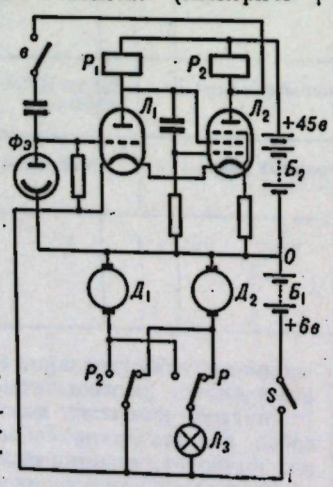


Рис. 1. Принципиальная схема «Эльмера»: $Д_1$ — двигатель рулевой колонки; $Д_2$ — приводной двигатель.

Раздражение	Состояние реле		Состояние двигателей	
	P_1	P_2	$Д_1$ (руль)	$Д_2$ (привод)
Темнота .	Выключено	Включено	Норм. скорость	Медлен. скорость*
Свет . . .	Выключено	Выключено	Неподвижен	Норм. скорость
Ослепление . . .	Включено	Выключено	Медленная скорость*	Норм. скорость
Прикосновение . .	Выключено	Включено	Норм. скорость	Медлен. скорость*
	Включено	Выключено	Медленная скорость*	Норм. скорость

* При движении с медленной скоростью в верхней части У. ч. загорается лампочка, к-рая может служить «приманкой» для др. «черепахи».

При совместном действии двух раздражителей устройство реагирует на более «сильное» (напр., «прикосновение»). Перечисл. св-ва схемы позволяют получить имитацию довольно сложных форм поведения. В нормальных условиях У. ч. осуществляет поиск, двигаясь медленно по кривым, напоминающим спираль. При освещении фотоэлемента она начинает быстро двигаться в направлении на источник света (слабый свет или разрядившиеся аккумуляторы); при наезде на препятствие — быстро отходит от него, совершая затем обходный маневр. Различные виды поведения «Эльмера» изображены на рис. 2. Здесь представлены: *а* — поиск при отсутствии яркого света, *б* — стремление к не очень сильному источнику света, *в* — поведение при наличии двух сильных источников света, *г* — обход препятствия, *д* — стремление к одному источнику света двух одинаковых устройств, *е* — автоматич. подзаряд аккумуляторов, *ж* — поведение около зеркала и *з* — «знакомство» двух устройств. Описываемая У. ч. обладает св-вом отыскания и сохранения нек-рых оптимальных условий для своего функционирования. Такими условиями является свободный поиск в слабоосвещенных местах.

Несколько более сложная модель У. ч.— «Кора», содержит еще один чувствит. элемент — микрофон и емкостный элемент памяти с большой постоянной времени разряда. Схема этой модели усложнена таким образом, что звуковой сигнал при достаточном заряде конденсатора памяти вызывает такой же маневр, как и наезд на препятствие. При меньшем заряде конденсатора звуковой сигнал

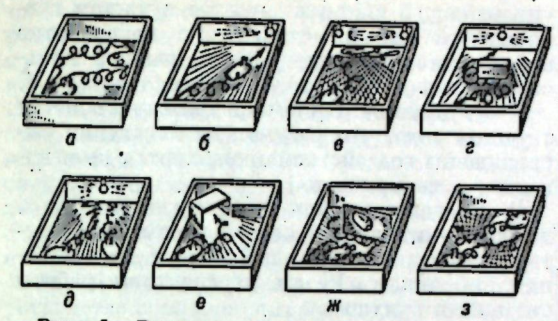


Рис. 2. Различные виды поведения черепах Уолтера (по H. Zemanek'y).

вызывает кратковрем. остановку — «замирание» (отключение двигателей). Конденсатор памяти заряжается при совпадении во времени акта прикосновения и звукового сигнала, причем для достижения необходимого уровня следует, чтобы такие совпадения появлялись несколько раз с не слишком большими интервалами между ними. Это небольшое усложнение дает возможность «Коре», кроме дополнит. реакции — «замирания» в ответ на звуковой сигнал, воспроизвести «условный рефлекс» на звук, вырабатываемый при одноврем. воздействии звука и прикосновения (см. *Моделирование условных рефлексов*).

Искусственные У. ч. явились первыми кибернетич. моделями-игрушками, демонстрирующими различные формы поведения и простейшие условные рефлексы. В настоящее время кибернетич. «зверинец» содержит много разновидностей искусств. «черепах» [8, 9, 10, 11], «белок», «собак», «жуков» и др. Кибернетич. модели типа У. ч. играют большую познават. роль, демонстрируя достаточно сложные виды искусств. поведения, полученные с помощью весьма простых средств. Модели такого типа позволяют также воспроизводить и экспериментально изучать коллективное поведение несложных автоматов.

Лит.: 1) Васильев Р. Р., Петровский А. М., «Черепаха» без панцыря, «Знание — сила», 1957, № 2; 2) их же, Автоматическая «черепаха», «Радио», 1958, № 3; 3) Гаазе-Рапопорт М. Г., Автоматы и живые организмы, М., 1961; 4) Крементуло Ю. В., Кібернетична «черепаха» «Тортіла-2», «Автоматика», Киев, 1959, № 2; 5) Walter W. G., An electro-mechanical «Animal», «Discovery», 1950, v. 11, № 3, p. 90—93, 6) его же, A machine that learns, «Scient. Amer.», 1951, v. 185, № 2, p. 60—63; 7) его же, An imitation of life, там же, 1950, v. 182, № 5, p. 42—45; 8) Zemanek H., Künstliche Tiere-lernende Maschinen, «Radiotechnik», 1954, Bd 30, H. 2/3, S. 67—73; 9) Eichler E., Die künstliche Schildkröte, там же, 1955, Bd 31, H. 5/6, S. 173—79; 10) его же, Aufbau und Verhalten der künstlichen Schildkröte, там же, H. 7/8, S. 239—44; 11) Kubanoff J. H., «Timothy» — A robot electronic turtle, «Radio and Telev. News», 1953, v. 49, № 4, p. 35—38, 150—53; 12) Berkley E. S., Light sensitive ... electronic beast, «Radio-Electronics», 1951, v. 23, № 3, p. 46—48; 13) Полетаев И. А., Сигнал, М., 1958.

М. Г. Гаазе-Рапопорт.

УПРАВЛЕНИЕ (control, guidance; commande; Steuerung) — осуществление совокупности воздействий, выбранных из множества возможных на основании определенной информации и направленных на поддержание или улучшение функционирования управляемого объекта в соответствии с имеющейся программой или целью управления (алгоритмом функционирования). У. необходимо для многих технич. систем, живых организмов и социальных структур (экономич., административных, военных). У. технич. системами производится воздействием на регулирующие органы объекта, к-рое часто в той или иной степени автоматизировано. Задачи синтеза устройств автоматич. У. и анализа процессов в управляемых системах являются предметом *управления автоматического теории.*

В связи с усложнением структур пром. и др. предприятий и повышением требований к их эффективности особое значение приобретают задачи организац. У., специфич. особенностью к-рого является воздействие на управляемую систему через людей. Задачи организац. У. можно подразделить на стратегич. и тактические. Задачи стратегич. характера решаются планированием, к-рое позволяет выработать программу функционирования и развития организации и последовательность воздействий для достижения поставленных целей на основе предвидения поведения управляемой системы и внешних условий (конъюнктуры). Тактич. задачи решаются оперативной (диспетчерской) службой, предназнач. для детализации и реализации управляющих воздействий с учетом обстоятельств, не предусмотренных при планировании.

Системы организационного У. предназначаются для обеспечения нормального функционирования организации путем: выдачи заданий исполнителям, распоряжения кредитами, подбора и расстановки кадров, поощрений и наказаний, соблюдения определ. ограничений и контроля за выполнением распоряжений.

У. в биологич. системах осуществляется органами, сформировавшимися в результате процесса эволюции. Есть основания считать, что задачи стратегич. характера решаются в таких системах при помощи механизма наследственности, а тактические — при помощи органов, обеспечивающих полезное для данного организма (в отношении его выживания и размножения) поведение в изменяющейся внешней среде. Биологич. управляющие системы достигли высокой степени совершенства и выполняют сложнейшие ф-ции. Глубокое исследование их может привести к открытиям, важным не только для медицины и с. х-ва, но также и для развития искусств. управляющих систем (см. *Бионика*).

Управляющие системы и процессы У. в течение многих лет изучались применительно к соответствующим областям науки и техники. Знания, накопленные в таких дисциплинах, как теория автоматич. У., теория связи, нейрофизиология, математич. экономика, вычислит. техника и др. привели к единой точке зрения на У. и к возникновению общей теории У. (см. *Кибернетика*). Новый взгляд на теорию У. помогает вырабатывать общий язык для ряда научных дисциплин и способствует их взаимному обогащению. Плодотворность этого процесса уже проявилась, в частности, в универсальном использовании таких фундаментальных понятий, как информация, обратная связь, память и др.

Наряду с полезными результатами обобщений понятий и методов, связанных с проблемами У., появилась тенденция игнорировать специфич. особенности, присущие управляющим системам различной природы. Истинно научный подход к проблеме У. очевидно должен основываться на сочетании широких обобщений с глубоким проникновением в специфику каждого класса систем.

Одно из основных понятий У.— *обратная связь.* Обобщение понятия обратной связи

позволяет использовать совокупность методов и фактов, относящихся к замкнутым динамич. системам, накопленных в теории колебаний и теории автоматич. управления, для решения важных задач У. экономич. системами — выработки оптимальной программы капиталовложений, установления продажных цен на продукцию и др., а также для понимания многих явлений в живых организмах.

Отличит. особенность совр. подхода к проблемам У.— рассмотрение их с точки зрения оптимизации режима работы управляемого объекта. Процесс У. можно рассматривать как стремление к минимизации функционала, количественно характеризующего в нек-ром метрич. пространстве «расстояние» между точкой, изображающей цель У., и точкой, соответствующей фактич. протеканию процессов в управляемом объекте. Такое рассмотрение оказалось плодотворным для анализа и синтеза систем У. технич. объектами, и, повидимому, может быть обобщено на др. классы управляющих систем. Так, У. к.-л. экономич. системой можно рассматривать, напр., как процесс минимизации отношения издержек произ-ва к получаемым доходам.

Важной чертой систем У. является то, что воздействия на управляемый объект могут быть изменены. У. предполагает определенную свободу в выборе управляющих воздействий. В пределах заданных ограничений должна оставаться возможность выбора таких воздействий, к-рые предпочтительны по отношению к поставленной задаче У.

При исследовании систем У. часто удобно выделить в них части, предназначенные для формирования управляющих воздействий — управляющие элементы. Остальную часть системы можно рассматривать как объект управления. До недавнего времени в теории У. рассматривались гл. обр. простейшие системы, сводимые к одному объекту, управляемому посредством одного управляющего элемента. Однако оказалось необходимым и возможным ввести в рассмотрение более сложную структуру — большую либо сложную систему управления, рассматриваемую как совокупность нескольких взаимосвязанных управляемых подсистем. Управление такими системами (см. *Управление операциями* и *Сложные системы*), как правило, ведется по иерархич. структуре.

Теория и практич. опыт позволяют сформулировать след. общие принципы, на к-рых, как правило, должна строиться система У.

1) Для эффективного У. необходимо: знать цель У. и показатель эффективности работы системы и иметь возможность определить степень приближения к цели и значение показателя эффективности для любого варианта У.; располагать достаточно полными и достоверными сведениями о состоянии входящих в данную систему подсистем, о ресурсах У. и о внешней среде; располагать эффективными средствами воздействия на управляемую систему и определенной свободой их выбора. Ограничения в выборе управляющих воздействий не должны быть слишком стеснительными. Должна быть обеспечена возможность достижения цели и достаточно широкого варьирования воздействий для оптимизации показателя эффективности.

2) Структура У. должна строиться на принципе минимизации числа ступеней иерархии управляющей системы, однако с учетом возможностей каждой ступени по переработке информации, необходимой для выбора целесообразного (близкого к оптимальному) У.

3) У. динамич. системами должно строиться с учетом того, что результаты изменения управляющих воздействий проявляются не мгновенно, а во времени.

4) У. должно быть перспективным, т. е. должны учитываться не только выгоды и потери, получаемые в данный момент, но и влияние выбранного У. на перспективы работы системы в будущем.

5) Система У. должна быть адаптивной, т. е. изменять свою структуру и законы функционирования в соответствии с накапливающимся опытом работы и изменяющимися условиями и целями (см. *Самоорганизующаяся система*). Эти изменения должны происходить не слишком редко (чтобы достаточно оперативно реагировать на изменения условий и целей) и не слишком часто (чтобы не вызывать излишних переходных процессов в системе и чтобы в системах накапливался достаточный опыт работы, не зависящий от случайных флуктуаций).

Перечисленные принципы могут оказаться полезными не только для решения задач У. сложными технич. комплексами, но также и для совершенствования У. сложными экономич. системами. Для этих целей разработан ряд методов, таких как теория оптимального планирования, математич. программирование, теория операций, теория игр, теория массового обслуживания и др. При помощи этих методов можно существенно повысить оперативность выработки мероприятий, ведущих к решению поставленных перед нар. х-вом задач, а также обеспечить оптимальность вырабатываемых планов по отношению к определенным критериям. Роль математич. методов в повышении эффективности У. весьма велика. Однако правильные и эффективные решения могут и должны приниматься людьми-руководителями на основании накопленного опыта управления и при помощи научных методов.

Лит.: Винер Н., Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине, пер. с англ., М., 1958; Бир С т., Кибернетика и управление производством, пер. с англ., М., 1963; Лурье А. Л., О математических методах решения задач на оптимум при планировании социалистического хозяйства, М., 1964; Методические материалы по созданию и применению систем организационного управления, вып. 1, М., 1964; Биологические аспекты кибернетики. Сб. работ, М., 1962; Философские вопросы кибернетики. [Сб. ст.], М., 1961.

А. Я. Лернер.

УПРАВЛЕНИЕ ВВОДОМ И ВЫВОДОМ данных для ЦВМ (input and output control; commande par tout ou rien; Ein- und Aussteurung). Устройства ввода предназначены для ввода в ЦВМ информации с внешних *носителей информации* (см. *Ввод данных в ЦВМ*). Устройства вывода осуществляют выведение информации на внешние носители информации (см. *Вывод данных из ЦВМ*). Скорость работы устройств ввода и вывода значительно меньше скорости работы центр. устройства управления (см. *Управления устройство центральное* и *Арифметическое устройство*). Если обработка одного слова в ЦВМ занимает фиксиров. число тактов для каждой операции, то для внешних устройств нет фиксиров. времени обработки слова или символа, т. к. расстояние между словами и символами изме-

няется. При вводе информации с вводного устройства вместе с информацией идет синхроимпульс. В зависимости от того, какое количество двоичных знаков считывается одновременно, синхроимпульс сообщает о поступлении из считывающего устройства следующей порции информации (следующего двоичного знака, следующего символа, следующего слова или следующей группы слов). Поступающую информацию нужно в общем случае перекодировать в машинные слова.

При выводе информации из машины внешнее устройство посылает синхроимпульс, сообщающий о том, что оно готово принять очередную порцию информации. Если информация на выходе кодируется на др. языке, чем внутри машины, то ее нужно перекодировать. Вводимую информацию необходимо объединить в такие группы, к-рые выводятся одновременно. Из-за различия скоростей работы нужно сохранить информацию, к-рая вводится или выводится на то время, пока она формируется. Для этого используются *запоминающие устройства буферные*, в качестве которых может служить часть оперативной памяти. Если работа внешнего устройства не блокирует программу, необходимо программно «охранять» часть памяти, служащую буфером, до окончания ввода или вывода. Из-за большого различия в скоростях работы ЦВМ и внешних устройств стремятся к тому, чтобы за одно считывание в машину вводилось (или из машины выводилось) макс. число двоичных знаков. Для того чтобы ввести или вывести группу машинных слов, необходимо задать следующие хар-ки вводимого или выводимого массива: число вводимых кодов и адрес начала той зоны оперативной памяти, к к-рой обращаются устройства ввода — вывода. Для того чтобы обеспечить ввод (вывод) в последоват. адреса памяти, нужно иметь счетчик для получения последоват. адресов, начиная с начального. Чтобы определить конец ввода или вывода, нужно иметь схемы сравнения. При вводе (выводе) группы чисел можно действовать двояко: или считать количество вводимых (выводимых) кодов и сравнивать это число с заданным в команде числом, или по нач. адресу и числу вводимых кодов определить адрес массива и сравнивать текущий адрес с конечным. Число двоичных знаков, вводимых за один такт считывания или записи, обычно не совпадает с количеством двоичных знаков в машинном слове. Поэтому необходимо иметь схему формирования числа при вводе и выводе. Она может обеспечивать правильную расстановку разрядов (как это происходит при вводе дискретной цифровой информации, записанной на перфокартах и перфолентах или при вводе такой информации).

Устройства ввода и вывода из-за отличия в скоростях работы и из-за инерционности механич. частей управляются по старт-стопной системе. Пример. Рассмотрим работу табулятора в качестве устройства ввода. При вводе с перфокарт, на к-рых информация набита по колонкам (один символ в колонке), каждая из строчек перфокарты считывается читающими щетками одновременно. В машину поступают: сигнал появления перфокарты под щетками, сигнал появления строки перфокарты под щетками и сигнал окончания перфокарты. В табуляторе имеется счетчик, к-рый с появлением каждой из строк перфокарты образует ее номер в двоичном коде. Если в колонке есть пробивки в нек-рых строчках, соответствующий номер строки с пробивкой попадает в тот разряд, с к-рым соединена данная считывающая щетка. Сигнал появления строки открывает путь содержимому счетчика. Т. к. в машине имеется сигнал, по к-рому можно определить положение карты под щетками, и т. к. этим сигналом могут пользоваться команды передачи управления с ожиданием значения признака, то программа может быть заблокирована и разблокирована соответствующей расстановкой в ней команд передачи управления с ожиданием.

При одноврем. работе многих устройств ввода и вывода управление внешним устройством производится в самом устройстве, а центральное устройство координирует работу внешних устройств. В совр. вычислит. машинах контроль работы устройств ведется схемно. При считывании информации ставят два последовательно считывающих приспособления, и считанный ими код сравнивается на совпадение. Кроме того, во многих машинах каждому машинному слову или группе слов присваивается контрольный код, к-рый автоматически получается при пробивке с тем числом, по к-рому он получен. При вводе или выводе спец. схемы заново вычисляют контрольное число и сравнивают его с имеющимся. При совпадении контрольных чисел работа продолжается; при несовпадении происходит останов, и зажигается аварийная сигнализация или же вырабатывается соответствующий сигнал. Схемы контроля также относятся к управлению вводом и выводом.

Одноврем. работа многих устройств ввода и вывода приводит к возникновению такого количества различных вариантов режимов совместной работы, что чисто схемное решение этих вопросов становится невыгодным и технически очень трудным. Поэтому принято координировать работу многих внешних устройств программно. В машине «Гамма-60», к-рая собирается из автономно управляемых блоков и работает по системе вопрос — ответ, схемно решены только схемы приоритета, определяющие степень важности устройства и порядок их обслуживания основной памятью машины и центральным устройством управления. Все остальные вопросы решаются программно.

Развитие ЦВМ связано с повышением быстродействия вводно-выводных устройств, причем основной путь повышения быстродействия — путь запараллеливания работы возможно большего количества внешних устройств. В этом случае вопрос координации их работы приобретает первостепенное значение.

Н. Н. Рикко.

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ АВТОМАТИЧЕСКОЕ (automatic control of flying apparatus; commande automatique des véhicules aeriens; automatische Steuerung für Flugapparate)—включает теорию, принципы построения и методы аппаратурной реализации систем, обеспечивающих управление летат. аппаратами без непосредств. участия человека. У. л. а. а. (самолетами, вертолетами, ракетами и космич. летат. аппаратами) предназначено для реализации требуемых траекторий движения, обеспечивающих их нахождение в соответствующих точках пространства в заданные моменты времени. При этом вид

траектории в основном определяется назначением летат. аппаратов, к-рые в зависимости от места старта и места точки, в к-рую должен быть выведен аппарат, в частности места цели, разделяются на следующие классы: «земля — земля», «земля — воздух (космос)», «воздух (космос) — земля», «воздух — воздух» («космос — космос»).

Существуют три принципиально различных метода автоматич. управления полетом летат. аппаратов: автономное управление, телеуправление и самонаведение. Отличит. черта каждого метода — способ и место формирования сигналов, используемых для управления полетом.

Автономным управлением наз. метод управления, при к-ром команды управления формируются спец. аппаратурой на борту летат. аппарата за счет использования информации, вырабатываемой только на его борту. Известны две разновидности автономного управления. Первая наз. программной, вторая спец. названия не имеет. Автономное управление является программным в том случае, когда на основе информации о параметрах движения цели и о параметрах движения самого летат. аппарата, к-рую имеют еще до его старта, и в соответствии с выбранным законом наведения, составляется программа полета, к-рая вводится в бортовое программное устройство в виде соответствующих расчетных ф-ций параметров движения от времени. Фактич. значения этих ф-ций непрерывно или дискретно определяются соответствующими бортовыми измерит. системами — чувствит. элементами системы управления. Рассогласование между расчетными и фактич. параметрами движения (иначе величины, характеризующие отклонение реальной траектории полета от программной) и используется для формирования сигналов управления.

При использовании 2-й разновидности автономного управления бортовое счетно-решающее устройство в соответствии с законом наведения непрерывно или дискретно вырабатывает сигналы управления на основе информации о параметрах движения цели, записанной в его памяти до пуска аппарата, и информации о текущих значениях параметров движения самого аппарата, определяемых бортовыми измерит. системами. Различие между принципами построения описанных автономных систем в том, что в 1-м случае траектория полета определяется до старта, а во 2-м она непрерывно рассчитывается на борту летат. аппарата в процессе его полета.

В качестве бортовых измерит. систем, предназначенных для определения параметров движения автономно управляемых объектов, наиболее распространены инерциальные системы, основанные на измерении и последующем интегрировании ускорений объекта только бортовыми средствами. С этой целью на летат. аппарате устанавливаются 2 или 3 датчика линейных ускорений (акселерометра), имеющих ортогональные оси измерения. Для того чтобы нужным образом ориентировать оси измерения акселерометров в пространстве, последние, как правило, устанавливаются на гироскопич. платформе. Двухкратное интегрирование сигналов акселерометров позволяет определить скорость и путь, пройденный объектом вдоль соответствующей оси, а с учетом нач. условий интегрирования — координаты объекта относительно Земли.

Гироскопич. платформа удерживается в неизменном положении относительно вертикали системой коррекции, использующей сигнал, пропорциональный интегралу от ускорения. Гироплатформа, снабженная интегр. коррекцией, — гироориентатор, моделирует физич. маятник с периодом $T = 2\pi\sqrt{R/g} = 84{,}4$ *мин* (здесь R — радиус Земли). Подобный маятник является невозмущаемой вертикалью. На рис. 1 представлена структурная схема автономного управления боковыми отклонениями центра масс объекта от заданной траектории, или, что то же самое, схема автономного управления поворотом вектора скорости летат. аппарата в горизонт. плоскости. Схема состоит из 2 замкнутых контуров: верхнего — контура инерциальной системы, основанного на использовании интегрирования боковых ускорений объекта, и нижнего — контура управления движениями центра масс. Связь контуров, осуществляющаяся через один общий элемент — первый интегратор инерциальной системы, обусловливает отклонение реальной траектории объекта от заданной за счет погрешностей контура инерциальной системы.

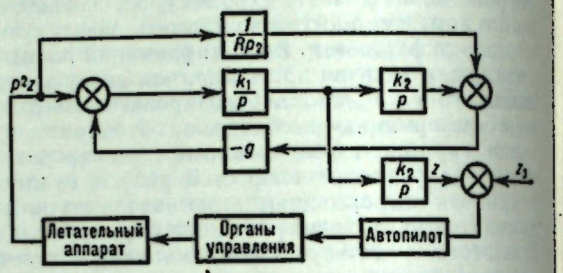


Рис. 1. Структурная схема автономной системы управления.

Автономная система управления, помимо контура управления боковым движением летат. аппарата, содержит также контур управления отклонением центра масс от заданной траектории в вертик. плоскости, или, что то же самое, контур поворота вектора скорости в вертик. плоскости, и контур управления величиной вектора скорости полета. Структурные схемы этих контуров аналогичны схеме рис. 1.

Телеуправление ведется с командного пункта и подразделяется на управление радиолучом и командное телеуправление. В 1-м случае спец. радиолокац. станция, расположенная на пункте управления, создает радиолуч, направленный в определенную точку пространства, в частности на цель (рис. 2). На летат. аппарате устанавливается приемник, к-рый является измерит. устройством бортовой системы управления, определяющим величину и направление отклонения объекта от оси радиолуча (равносигнальная зона) в системе координат, связанной с этой зоной. Усиленный сигнал измерит.



Рис. 2. Принципиальная схема телеуправления.

устройства приводит в действие исполнит. органы системы управления, к-рые обеспечивают нужное отклонение рулей объекта. При этом создается управляющая сила, совмещающая траекторию движения центра масс объекта с равносигнальной зоной.

При командном телеуправлении команда формируется на пункте управления в соответствии с величиной и направлением отклонения фактич. траектории движения объекта от заданной (программной) траектории и по спец. каналам связи передается на борт объекта. Возможны два метода измерения отклонений. В связи с этим различают две принципиально различные схемы построения систем командного телеуправления. В 1-й схеме информация о параметрах движения цели и объекта поступает на пункт управления, и в результате ее обработки (на основе выбранного закона наведения) формируется команда управления, к-рая поступает на объект и отрабатывается бортовой системой управления. При использовании 2-й схемы информация о параметрах движения цели поступает на объект, а оттуда — на командный пункт, на к-рый передается также информация о параметрах движения объекта. В результате обработки этих двух видов информации также на основе принятого закона наведения вырабатываются команды управления, к-рые поступают на объект и отрабатываются бортовой аппаратурой управления.

В 1-й схеме информацию о движении объекта и цели обеспечивают радиолокац. системы, во 2-й — информацию об объекте обеспечивают радиолокац. системы, а о цели — бортовые системы объекта (радиолокационная, телевизионная или ИК аппаратура).

Самонаведение осуществляется формированием команды управления на борту объекта (в соответствии с принятым законом наведения) в результате информации, содержащейся в сигнале, излучаемом или отраженном от цели. Этот сигнал, в зависимости от того, является ли он радиолокационным, тепловым (инфракрасным), световым или акустическим, улавливается соответствующей бортовой аппаратурой, т. н. головкой самонаведения.

Кроме перечисл. методов управления, возможно т. н. комбинированное У. л. а. а., являющееся комбинацией указанных методов управления. Комбинированное управление бывает последовательным и параллельным. При последовательном на различных участках полета объекта последовательно реализуется тот или др. метод управления (напр., телеуправление или автономное управление и затем самонаведение). При параллельном на нек-рых участках или на всей траектории движения объекта одновременно применяются неск. методов управления (напр., управление объектом в вертик. плоскости ведется автономным методом, а в горизонт. плоскости — при помощи телеуправления).

Законы наведения летат. аппаратов в заданную точку пространства или на цель (иначе законы сближения) подразделяются на: наведение по лучу; преследование цели по кривым погони чистое, или обыкновенное, и с упреждением; параллельное сближение; пропорц. сближение. При наведении по лучу (трехточечный метод наведения) объект (рис. 3), перемещаясь в пространстве, остается все время на радиусе-векторе, проходящем через заданную точку (цель) и точку, из к-рой ведется управление. Последняя может быть как неподвижной, так и подвижной. Дифференц. ур-ние траектории объекта при кинематич. постановке задачи: объект и цель (геометрич. точки, скорость объекта V и скорость цели $V_ц$ — постоянны, и цель движется по прямой линии), имеет вид:

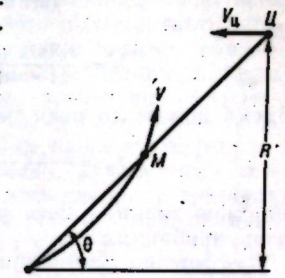


Рис. 3. Схема наведения по лучу.

$$\left(\frac{dr}{d\theta}\right)^2 + r^2 = (aR)^2 \frac{1}{\sin^4\theta}, \qquad (1)$$

где $a = V/V_ц$. Ур-ние в квадратурах не интегрируется. Решение может быть найдено разложением в ряд Тейлора. Оно имеет вид:

$$r = \frac{aR}{\operatorname{tg}^2\theta}(1+\operatorname{tg}^2\theta_0)\left[(\theta-\theta_0) - \frac{1}{\operatorname{tg}\theta_0}(\theta-\theta_0)^2 + \right.$$
$$\left. + \ldots + \frac{1}{3!\operatorname{tg}^2\theta_0}(6+\operatorname{tg}^2\theta_0)(\theta-\theta_0)^2 + \ldots\right]. \qquad (2)$$

Время полета равно

$$t = \frac{R}{V}(\operatorname{ctg}\theta_0 - \operatorname{ctg}\theta_к), \qquad (3)$$

где $\theta_к$ — угол места в момент попадания объекта в заданную точку пространства. Ур-ния (2) и (3) позволяют строить траекторию движения объекта.

При наведении по методу преследования цели по кривым погони вектор скорости объекта составляет пост. угол (угол упреждения) с направлением: объект — заданная точка пространства или цель (рис. 4). При чистом

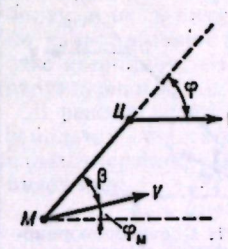


Рис. 4. Схема преследования с упреждением.

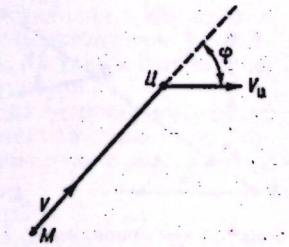


Рис. 5. Схема чистого преследования.

преследовании этот угол равен нулю, а вектор скорости объекта непрерывно проходит через заданную точку пространства (цель) (рис. 5). Дифференц. ур-ние траектории объекта при чистом преследовании в кинематич. постановке задачи имеет вид:

$$\dot{r}/r = \pm(a/\sin\varphi \mp \operatorname{ctg}\varphi)\,\dot{\varphi}. \qquad (4)$$

Здесь верхние знаки соответствуют случаю удаляющейся цели, а нижние — движению цели навстречу объекту.

Ур-ние (4) интегрируется в квадратурах. Для 1-го случая:

$$r = k\frac{(\sin\varphi)^{a-1}}{(1+\cos\varphi)^a}, \qquad (5)$$

где постоянная интегрирования k определяется нач. условиями

$$k = \frac{r_0(1+\cos\varphi_0)}{(\sin\varphi_0)^{a-1}}. \qquad (6)$$

Во 2-м случае

$$r = k' \frac{(1+\cos\varphi)^a}{(\sin\varphi)^{a+1}}, \qquad (7)$$

где

$$k' = \frac{r_0 (\sin\varphi_0)^{a+1}}{(1+\cos\varphi_0)^a}. \qquad (8)$$

Время полета до цели равно:

$$t_к = \frac{\pm r_0 (\cos\varphi_0 \pm a)}{aV - V_ц}. \qquad (9)$$

Верхние знаки — цель удаляется, нижние — цель приближается.

Дифференц. ур-ние траектории объекта при преследовании с углом упреждения, равным β, имеет вид:

$$\frac{\dot r}{r} = \frac{\cos\varphi + a\cos\beta}{-\sin\varphi + a\sin\beta}\dot\varphi. \qquad (10)$$

Ур-ние (10) интегрируется в квадратурах лишь в предположении, что $p^2\sin^2\beta < 1$, что обычно и имеет место.

При наведении по методу параллельного сближения направление: объект — заданная точка пространства (цель), остается в пространстве неизменным. Это означает, что линия, соединяющая объект и цель, остается всегда параллельной заданному направлению в пространстве (рис. 6). Кинематич. ур-ния движения объекта:

$$\left.\begin{aligned} \dot r &= V_ц\cos\gamma_ц - V\cos\gamma \\ 0 &= V_ц\sin\gamma_ц - V\sin\gamma \end{aligned}\right\}. \qquad (11)$$

Непосредств. интегрированием получаем:

$$r = r_0 + (V_ц\cos\gamma_ц - V\cos\gamma)\,t. \qquad (12)$$

При наведении по методу пропорцион. сближения угловая скорость вектора скорости объекта пропорциональна угловой скорости вращения линии:
объект — заданная

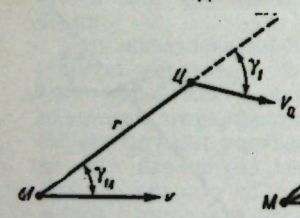


Рис. 6. Схема параллельного сближения.

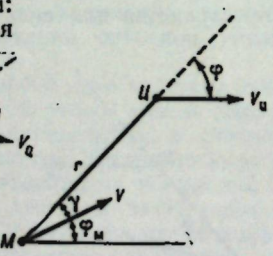


Рис. 7. Схема пропорционального сближения.

точка пространства (цель) (рис. 7). Кинематич. ур-ния движения имеют вид:

$$\left.\begin{aligned} \dot r &= V_ц\cos\varphi_ц - V\cos(\varphi_ц - \varphi) \\ r\dot\varphi &= -V_ц\sin\varphi_ц + V\sin(\varphi_ц - \varphi) \\ \varphi_ц &= n\varphi \end{aligned}\right\}. \qquad (13)$$

Последнее ур-ние системы (13) выражает закон пропорцион. сближения. Решение системы (13) может быть получено в аналитич. виде только при $n = 2$. Если $n = 1$ и $\varphi = 0$, то имеет место чистое преследование; если $n = 1$, а $\varphi_0 = \text{const} \neq 0$ — преследование с упреждением, и при $\varphi = 0$ возникает закон параллельного сближения.

Движение подвижных объектов в пространстве характеризуется 6 степенями свободы. В качестве координат, определяющих положение объекта в пространстве, обычно выбирают углы продольного ϑ и поперечного γ кренов, угол рыскания ψ, а также высоту полета H, боковое отклонение от заданной траектории Z и расстояние L от нек-рой неподвижной точки. Угловые координаты ϑ, φ, ψ характеризуют движение объекта относительно центра масс, линейные координаты H, Z, L — движение центра масс объекта относительно заданной траектории движения. Для управления движением объекта необходимо воздействовать на силы и моменты, действующие в полете на объект (аэродинамич. силы и моменты, сила тяги осн. двигателя и двигателей управления и сила веса). Существуют 3 способа создания управляющих сил и моментов: в результате поворота управляющих поверхностей объекта (рули, элероны, элевоны, щитки); поворота крыльев относительно корпуса или включения спец. управляющих двигателей с направлением тяги, нормальным к траектории полета; вследствие изменения тяги двигателя, касательной к траектории полета.

Параметры движения объекта взаимосвязаны, его аэродинамические хар-ки переменны во времени, а управляющие силы и моменты являются нелинейными ф-циями параметров движения; система ур-ний, описывающих движение объекта как управляемый процесс, является сложной нелинейной системой дифференц. ур-ний с перем. коэфф. В общем виде такая система анализу не поддается. Поэтому для целей исследования движения управляемых объектов и выбора оптим. параметров систем управления разделяют действит. движение объекта на два изолированных — продольное и боковое. Подобное допущение основывается на предположении о том, что параметры, определяющие продольное движение, считаются пост. величинами в ур-ниях бокового движения, а параметры, определяющие боковое движение,— постоянными в ур-ниях продольного движения. Далее система ур-ний упрощается благодаря применению метода линеаризации или метода малых отклонений, суть к-рого состоит в том, что движение объекта разделяется на возмущенное и невозмущенное, и отклонения параметров возмущенного движения от их значений при невозмущ. режиме полета считаются малыми. Это позволяет, разлагая в ряд по степеням отклонений все нелинейные ф-ции, входящие в исходные нелинейные ур-ния движения, отбросить все члены ряда, имеющие порядок малости выше первого, и тем самым получить ур-ния 1-го приближения в виде линейных дифференц. ур-ний.

И, наконец, учитывая то обстоятельство, что время переходного процесса движения центра масс объекта практически на порядок больше времени переходного процесса движения объекта относительно центра масс, названные виды движения рассматривают, как независимые друг от друга. Это дает возможность расчленить общую систему ур-ний движения объекта на группы ур-ний движения его центра масс и ур-ний движения объекта относительно центра масс и интегрировать эти 2 группы раздельно. При интегрировании достаточно часто используется метод «замораживания» коэфф. ур-ний (метод квазификсированных коэфф.), состоящий в том,что в каждый данный момент времени параметры объекта полагаются величинами постоянными. Возможность применения этого метода базируется на том, что даже за время переходного движения

центра масс параметры объекта изменяются весьма незначительно.

Системы У. л. а. а. по своей структуре являются системами с *обратной связью* (рис. 8). В цепи обратной связи устанавливается автопилот для управления рулевыми органами летат. аппарата. Он состоит из управляющих, чувствит. и исполнит. элементов и счетно-решающего устройства (СРУ). Управляющие элементы задают соответствующий режим полета, чувствительные — формируют электрич. сигналы, пропорциональные угловым и линейным координатам объекта, производным и интегралам от них. СРУ усиливают, распознают и суммируют управляющие сигналы, сигналы от чувствит. элементов и сигналы обратной связи исполнит. элементов. И, наконец, исполнит. элементы автопилотов предназначены для управления рулевыми органами объектов в соответствии с управляющими командами и сигналами чувствит. элементов. При этом зависимость между параметрами движения органов управления (угол перестановки руля или двигателя управления либо скорости их перестановки) и сигналами на входе счетно-решающего устройства определяет закон управления, иначе — ур-ние автопилота. В наиболее общем виде последнее может быть записано так:

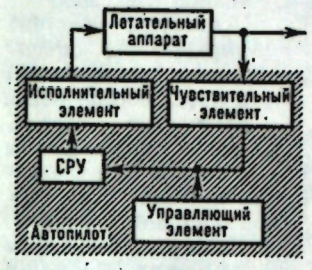


Рис. 8. Структурная схема системы автоматич. управления летательным аппаратом.

$$L(p)\,\delta = M(p)\,x_i + N(p)\,y_i, \qquad (14)$$

где $L(p)$, $M(p)$ и $N(p)$ — операторы $p \equiv \frac{d}{dt}$, δ — координата органа управления, x_i и y_i — сигналы чувствит. и управляющих элементов (соответственно).

Выбор конкретного вида закона управления определяется типом летат. аппарата, хар-ками возмущений и требованиями к динамике системы и переходным процессам в ней.

Исполнит. элемент автопилота представляет собой замкнутую систему автоматич. управления рулевым органом. В общем виде структурная схема исполнит. элементов автопилота может быть представлена в виде системы с обратной связью. Если передаточная ф-ция цепи обратной связи — величина постоянная, т. е. $W_{oc} = k$, то имеют дело с автопилотом с жесткой обратной связью, к-рый также наз. статич. автопилотом. У автопилота со скоростной обратной связью (астатич. автопилот) передаточная ф-ция цепи обратной связи пропорциональна угловой скорости перестановки руля, т. е. $W_{oc} = kp$. И, наконец, если передаточная ф-ция цепи обратной связи имеет вид $W_{oc} = k\frac{T_и p}{T_и p + 1}$, то автопилот является автопилотом с изодромной обратной связью. Наибольшее распространение получили статич. и астатич. автопилоты.

Выбор структурной схемы автопилота определяется его назначением, динамич. св-вами летательного аппарата, требованиями к динамике и качеству автоматич. управления объектом. Автопилот обеспечивает автоматизацию либо определенной части режимов и этапов полета (самолет, вертолет), либо всех режимов и этапов полета (беспилотные летательные аппараты, а также космич. обитаемые летательные аппараты). Динамич. св-ва летательного аппарата, требования к качеству переходных процессов и точности управления определяют выбор параметров регулирования, а следовательно, и чувствит. элементов — источников информации о текущих значениях этих параметров, а также наличие и виды корректирующих устройств.

Структурные схемы автопилотов летательных аппаратов, использующих в качестве органов управления аэродинамич. поверхности — рули, состоят из трех каналов: канала элеронов, канала руля высоты и канала руля поворота. Каналы связываются друг с другом при помощи перекрестных связей и имеют чувствительные элементы, обеспечивающие измерение угла поворота вокруг соответствующей оси, — позиционный, или 3-степенной гироскоп, и угловой скорости — скоростной, или демпфирующий гироскоп. Иногда в автопилотах формируются сигналы, пропорциональные 2-й производной или интегралу от угла поворота.

Кроме чувствит. элементов (курсовой гироскоп, гировертикаль, скоростной гироскоп), обеспечивающих систему информацией о положении, скорости и ускорении движения объекта относительно центра масс, необходимой для его угловой стабилизации, в структурную схему автопилотов могут входить элементы (высотомер, указатель скорости, компас, а также акселерометры), определяющие положение центра масс относительно заданной траектории или в пространстве. В нек-рых случаях информация о линейных координатах объекта и его скорости вырабатывается не на борту, а на пунктах управления и передается по каналам связи в счетно-решающее устройство автопилота. На рис. 9 дана в общем виде структурная схема автопилота.

В режиме стабилизации угловых координат самолета закон управления автопилота по каналам элеронов, руля поворота и руля высоты имеет вид:

$$\left.\begin{aligned} \delta_э &= k_{11}\gamma + k_{12}\psi \\ \delta_п &= k_{21}\psi + k_{22}\dot\psi + k_{23}\gamma \\ \delta_в &= k_{31}\vartheta + k_{32}|\gamma| \end{aligned}\right\}. \qquad (15)$$

В режиме координированного разворота и при наборе или снижении высоты и выполнении спиралей закон управления автопилота имеет вид:

$$\left.\begin{aligned} \delta_э &= k_{11}\gamma + k_{13}u_1(t) \\ \delta_п &= k_{22}\psi + k_{23}\gamma + k_{24}u_1(t) \\ \delta_в &= k_{31}\vartheta + k_{32}|\gamma| + k_{33}u_2(t) \end{aligned}\right\}. \qquad (16)$$

Здесь $u_1(t)$ и $u_2(t)$ — сигналы, подаваемые в автопилот от задатчиков разворота и тангажа; k_{13} и k_{24} — передаточные коэфф. от задатчика разворота на рули; k_{33} — передаточный коэфф. от задатчика тангажа на руль высоты. Как видно, в режиме координированного разворота происходит отключение позиционного сигнала по курсу.

Наличие автопилота на борту летательных аппаратов, в частности самолетов, создает предпосылки для автоматизации наиболее ответственных и трудно выполнимых участков полета — взлета и посадки.

Автоматизация процесса посадки, как правило, осуществляется по методу комбинированного управления, представляющего в данном случае комбинацию методов автономного управления и телеуправления. Информация, необходимая для обеспечения работы системы автоматич. управления (автопилота), вырабатывается как бортовыми приборами, так и наземными радиотехнич. и радиолокац. средствами.

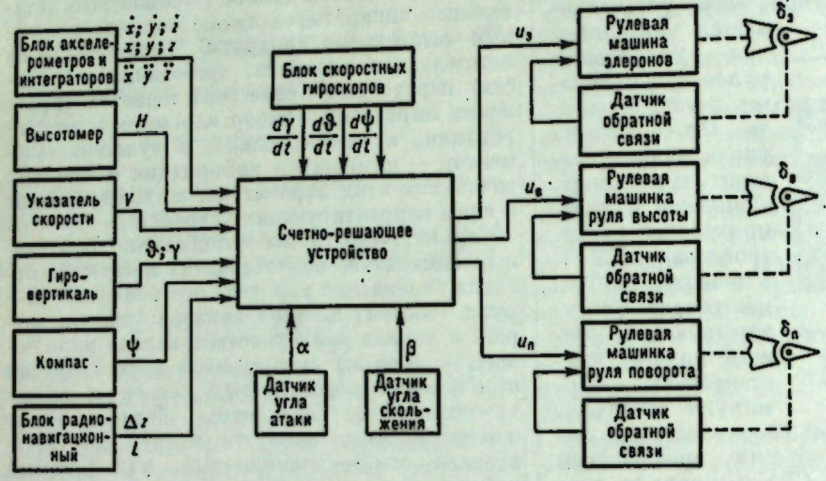


Рис. 9. Структурная схема автопилота.

Посадка самолета складывается из двух этапов: захода на посадку и собственно посадки. Заход на посадку распадается на две фазы (рис. 10). Аппаратурно системы автома-

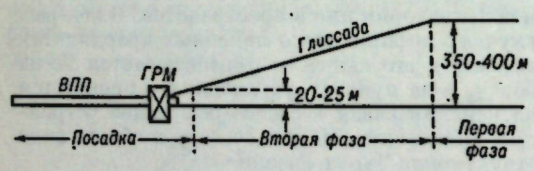


Рис. 10. Схема захода на посадку.

тич. посадки (т. н. системы слепой посадки) состоят из оборудования наземного [глиссадный (ГРМ) и курсовой (КРМ) радиомаяки, маркерные радиомаяки — ближний, средний и дальний, обзорный радиолокатор, радиосвязное оборудование и др.] и самолетного (курсовой и глиссадный радиоприемники, дальномер и указательный прибор). Сигналы наземных средств, пропорциональные угловым или линейным рассогласованиям, воспринимаются соответствующими бортовыми приборами, преобразуются в электрич. сигналы и поступают в систему управления (автопилот). При этом возможна реализация различных законов управления, однако наиболее распространены следующие законы управления: в горизонтальной плоскости (боковое движение)

$$p\psi = k_{11}\varphi + k_{12}p\varphi, \qquad (17)$$

$$p\psi = k_{21}\varphi - k_{22}\psi + k_{23}\frac{1}{p}\varphi; \qquad (18)$$

в вертикальной плоскости (продольное движение)

$$p\vartheta = -k'_{11}\beta - k'_{12}p\beta, \qquad (19)$$

$$p\vartheta = -k'_{21}\beta - k'_{22}(\vartheta - \vartheta_3) - k'_{23}\frac{1}{p}\beta. \qquad (20)$$

Здесь коэфф. k — передаточные числа автопилота, φ — угол между линией КРМ — центр масс самолета, и центральной линией ВПП; β — угловое отклонение самолета относительно глиссады.

Астатич. система управления, описываемая ур-ниями (17) и (19), обеспечивает отсутствие статич. ошибки по углам φ и β только при воздействии бокового и вертикального ветра. Интегральные члены в ур-ниях (18) и (20) компенсируют также статич. ошибки, возникающие при наличии погрешностей в измерении курса и вертикали.

Автоматизация процесса взлета осуществляется по методу автономного управления. В связи с тем, что при взлете самолета, с одной стороны, необходимо обеспечить заданную скорость его движения и величину взлетного угла атаки, к-рому пропорциональна подъемная сила, а с другой — обеспечить движение самолета в заданной плоскости, система автоматич. управления взлетом оснащена программным автоматом для управления продольным движением и замкнутым автоматом для управления боковым движением. Программный автомат обеспечивает управление тягой двигателя для поддержания заданной скорости движения и рулем высоты для получения необходимого значения угла атаки. Автомат для управления боковым движением стабилизирует заданное направление движения по ВПП.

Для осуществления оптимального полета необходимо, чтобы система автоматич. управления (рис. 11) обеспечивала оптим. управление

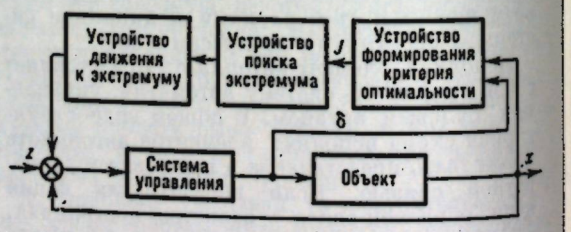


Рис. 11. Схема автоматич. оптимизации полета летательного аппарата.

летательным аппаратом в соответствии с выбранным критерием оптимальности. Математич. формулировка задачи оптимизации полета состоит в следующем. Пусть процесс управления описывается системой дифференц. ур-ний, записанной в векторной форме,

$$\frac{dx}{dt} = f(x, \delta), \qquad (21)$$

где $x(t)$ — вектор состояния системы, определяемый совокупностью фазовых координат объекта управления $x_1(t), x_2(t), \ldots, x_n(t)$; $\delta(t)$ — вектор управления, определяемый совокупностью управляющих ф-ций, заданное изменение к-рых обеспечивает требуемое (в частности оптимальное) протекание процесса в системе. Пусть, кроме того, $z(t)$ — нек-рая заданная векторная ф-ция, относительно к-рой будем полагать, что если $x(t)$ в процессе всего времени полета был как можно ближе к $z(t)$, то полет был оптимальным. Требуется определить значение $\delta(t)$, при к-ром минимизируется функционал:

$$I(\delta) = \int_0^T h(x - z)\,dt. \qquad (22)$$

Траектория полета, вдоль к-рой функционал I достигает экстремума, наз. оптимальной траекторией, а управление, обеспечивающее движение по оптимальной траектории, — оптимальным.

В связи с тем, что на управляющие ф-ции, как правило, накладываются различного рода ограничения, вызванные физ. условиями работы системы, сформулированная задача не является классич. задачей вариац. исчисления. Для ее решения используются *максимума принцип* и методы *динамического программирования*.

Лит.: Доброленский Ю. П., Иванова В. И., Поспелов Г. С., Автоматика управляемых снарядов, М., 1963; Кельзон А. С., Динамические задачи кибернетики, Л., 1959; Локк А. С., Управление снарядами, пер. с англ., М., 1957; Управление полетом космических аппаратов. Сб. ст., пер. с англ., М., 1963; Бодинер В. А., Теория автоматического управления полетом, М., 1964; Красовский А. А., Динамика непрерывных самонастраивающихся систем, М., 1963; Красовский А. А., Поспелов Г. С., Основы автоматики и технической кибернетики, М.—Л., 1962; Понтрягин Л. С. [и др.], Математическая теория оптимальных процессов, М., 1961; Беллман Р., Процессы регулирования с адаптацией, пер. с англ., М., 1964.

А. Л. Горелик.

УПРАВЛЕНИЕ ЛОКОМОТИВАМИ АВТОМАТИЧЕСКОЕ (automatic locomotives control; commande automatique d'une locomotives; automatische Loksteuerung) — применяется при разгоне и электрич. торможении; для прекращения аварийных режимов в работе оборудования (автоматич. защита); для борьбы с буксованием и юзом колесных пар локомотива; для обеспечения нормальных режимов работы оборудования (своевременное зажигание игнитронов на локомотивах переменно-постоянного тока, поддержание постоянства мощности первичного двигателя на тепловозах и т. д.). В последнее время стали применять автоматич. регулирование скорости и графика движения поезда.

Автоматизация управления облегчает труд машиниста, улучшает использование локомотива, повышает безопасность движения, способствует экономии энергии или топлива. В первую очередь на ж.-д. транспорте автоматизируются вспомогат. операции — управление отоплением и освещением, управление компрессорами и вентиляторами и т. д. У отдельных видов подвижного состава автоматизируется также и ряд операций, связанных с регулированием тяги и скорости локомотива.

Автоматич. системы для управления движением поезда, иногда называемые «Автомашинист», действуют на основании программы, основой к-рой является график движения данного поезда по данному участку, т. е. время хода по перегонам, блокучасткам, элементам профиля пути. Для выполнения заданной программы в системе предусмотрена определенная последовательность действий — алгоритм управления, обеспечивающий такой выбор режимов работы локомотива, чтобы отклонение движения поезда по времени от заданного графика не превышало установл. нормы. В случае отклонения от графика (программы) система принимает меры для уменьшения этого отклонения.

По принципу действия системы автоматич. управления локомотивами могут быть разделены на две большие группы:

а) системы, управляющие на основе сравнения текущих данных с программой, без анализа возможного изменения данных в будущем — системы без прогноза; б) системы, к-рые наряду с учетом текущих данных выполняют прогноз на будущее, производят упреждающие расчеты на нек-рое расстояние или нек-рое время вперед. Это системы с прогнозом (упреждением). Они точнее, но сложнее и дороже.

В зависимости от поставл. задач может применяться как та, так и другая система. На рис. 1 показана блок-схема узла контроля

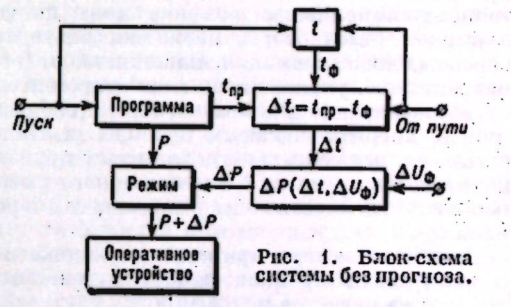


Рис. 1. Блок-схема системы без прогноза.

времени для системы без прогноза. Система заставляет локомотив работать в режиме P, предусмотренном программой, если поезд выполняет график ($\Delta t = 0$) и напряжение в контактной сети (фактич. значение напряжения) не отличается от нормального ($\Delta U_\Phi = 0$). Если эти величины не равны нулю, система выбирает необходимое изменение режима ΔP в соответствии с имеющейся в его памяти спец. зависимостью $\Delta P(\Delta t, \Delta U_\Phi)$.

На рис. 2 дана аналогичная блок-схема для системы с прогнозом (с упреждением), из

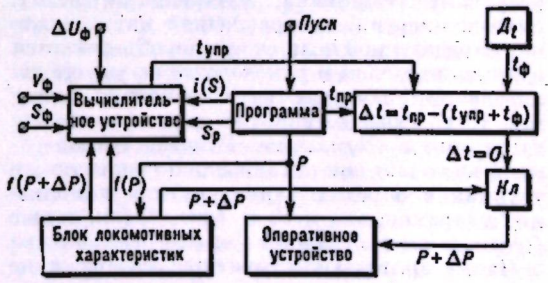


Рис. 2. Блок-схема системы с прогнозом (с упреждением): $Д_t$ — датчик времени; V — скорость; S — путь; i — профиль пути; ΔU_Φ — отклонение фактич. напряжения в контактной сети от нормального; P — режим работы локомотива; ΔP — изменение режима; $t_{упр}$ — время движения поезда по расчету на участке упреждения (прогноза); $f(P)$ — сила тяги локомотива (удельная) при режиме P; $Кл$ — ключ.

к-рой ясно усложнение системы за счет упреждающих расчетов (см. также вклейку, т. 3, стр. 65). Вычислит. устройство здесь производит один раз расчет времени хода поезда на участке упреждения $t_{упр}$ на режиме P, на к-ром

поезд движется в данный момент, затем суммирует полученное время с фактич. временем, прошедшим от начального момента $t_ф$, и сравнивает с временем $t_{пр}$, предусмотренным в программе. Если разность этих времен Δt равна нулю, то локомотив продолжает двигаться на режиме P. Если $\Delta t \neq 0$, то расчет на режиме P прекращается. Дальнейшие расчеты по мере движения поезда вычислит. устройство производит непрерывно на режиме $P + \Delta P$, при этом знак изменения ΔP зависит от знака Δt, полученного при первом вычислении. Когда расчет покажет, что $\Delta t = 0$, локомотив переводится на новый режим.

Вычислит. устройство может быть цифровым, аналоговым или содержать ряд готовых зависимостей между исходными величинами.

Применение таких систем для автоматич. управления подвижным составом обеспечивает экономию энергии путем выбора рациональных режимов движения; улучшает использование пропускной способности участка благодаря точному выполнению графика хода поезда; повышает безопасность движения благодаря освобождению внимания машиниста от осн. операций по управлению локомотивом и сосредоточению его на безопасности (наблюдение за впереди лежащим путем, контактной сетью, сигналами и т. д.); повышает производительность труда за счет возможного уменьшения численности обслуживающего персонала.

Подобные системы применяются на опытных линиях ряда метрополитенов. Ведутся опыты также и на магистральных ж. д.

Лит.: Автоматизация систем управления электрическим подвижным составом, М., 1963; Тихменев Б. Н., Трахтман Л. М., Теория работы электрооборудования, электрические схемы и аппараты, 2 изд., М., 1959 (Подвижной состав электрических железных дорог, т. 3); Фаминский Г. В., Автоматическое управление электропоездом, «Электрическая и тепловая тяга», 1963, № 1 (73).

Г. В. Фаминский.

УПРАВЛЕНИЕ ОПЕРАЦИЯМИ [control of operations (management); commande des operations; Operationssteuerung] — управление деятельностью коллективов людей, оснащенных определенными материальными ресурсами (машинами, материалами, источниками энергии), направленной на достижение определенной цели. Операция объединяется единым замыслом и руководство ею осуществляется из одного центра. С понятием операции тесно связаны понятия: руководство, организация и *управление*. Руководство операцией включает как организацию коллектива и техники в определ. структуру для выполнения операции, так и У. о. (рис. 1) (см. также *Организация управления производством*).

Часто организац. структура задана и не меняется в ходе операции. Однако и в этом случае руководство не сводится к управлению, поскольку оно включает в себя, помимо всего прочего, политические, морально-правовые и воспитат. ф-ции и т. п. Таким образом понятие У. о. ограничивается технико-экономич. проблемами для производств. операций и военно-техническими — для боевых (для последних, и особенно операций стратегич. масштаба, экономич. проблемы также имеют важнейшее значение). У. о. включает в себя планирование операции и оперативное управление в ходе операции или в процессе достижения цели. Цель операции — достижение к.-л. результата. В производств. условиях цели могут быть следующие: выработать на предприятии за определ. срок продукцию заданного объема или в количестве, к-рое может



Рис. 1. Структурная схема, объединяющая факторы, важные для руководства операцией.

быть реализовано на рынке, построить и пустить в ход новое предприятие и т. п. Цель боевых операций — наступление для овладения населенным пунктом, уничтожения боевых средств противника и т. п. Производств. и боевые операции существенно различаются по условиям выполнения. В большинстве случаев в производств. условиях цели операции всегда достижимы. В боевых же условиях обычно можно говорить только о вероятности достижения цели, ибо слишком велик элемент случайности и неопределенности. С этой точки зрения У. о. распадаются на 3 категории:

управление при определенности, когда обстановка, условия выполнения операции известны и когда имеется уверенность, что с возникающими случайностями и помехами в ходе операции удастся справиться;

управление при риске, когда обстановка и условия выполнения операции заданы своими статистич. хар-ками (напр., управление предприятием по выпуску продукции в соответствии со статистически заданным спросом);

управление при неопределенности. Статистич. хар-ки обстановки и условия выполнения неизвестны или не имеют смысла. Очевидно, что операция по посадке (впервые) космич. аппарата на планету протекает в условиях неопределенности, когда статистич. хар-ки не имеют смысла. У. о. в условиях неопределенности сопровождается рядом действий, направленных на изучение (разведку) окружающей среды и условий проведения операции.

Операции в области произ-ва тяготеют к 1-й категории, а военные операции — к 3-й.

Планирование, как составная часть управления, должно указать способ действий (стратегию), направленный на достижение цели. Составление плана предполагает создание нек-рой модели операции и наличие совокупности исходных данных. При применении теории *исследования операций* для планирования формулируется ф-ция цели, ограничения (дисциплинирующие условия) и критерии или показатели эффективности операции. Планирование целесообразно разделить на два вида: 1) рациональное или оптимальное распределение материальных и людских ресурсов, оборудования, вооружения и т. п. для выполнения операции; 2) планирование логич. последовательности действий по достижению цели операции. Сюда включается и календарное планирование.

Оба вида планирования реализуются как до начала операции, так и в ходе операции, когда обстоятельства вынуждают вносить коррективы в планы или пересматривать их. При 1-м виде планирования применяются *математическое программирование*, *массового обслуживания теория*, теория марковских процессов и др. Для боевых операций характерно использование *игр теории* как теории планирования операций, протекающих в условиях активного противодействия противника.

Для 2-го вида планирования весьма эффективно применение сетевого планирования (см. «*ПЕРТ*»).

В задачу оперативного управления входит обеспечение выполнения определенного планом способа действий (стратегии) в процессе достижения цели. Оперативное управление состоит в контроле хода операции и принятии ряда мер по ликвидации отклонений от запланированного течения операции. Если возникает необходимость, то план корректируется или даже полностью перестраивается.

При анализе процесса управления операцией, в т. ч. оперативного и диспетчерского, сталкиваются с понятиями: система управления, контур управления, управляющая система и управляемая система (объект управления). Все эти понятия связаны с информац. процессами, наблюдаемыми в операциях, с кибернетикой как с наукой об управлении в смысле значительно более широком, чем это принято в данном случае.

Для У. о. необходим обмен информацией между управляющей и управляемой системами (рис. 2). Управляющей системой при

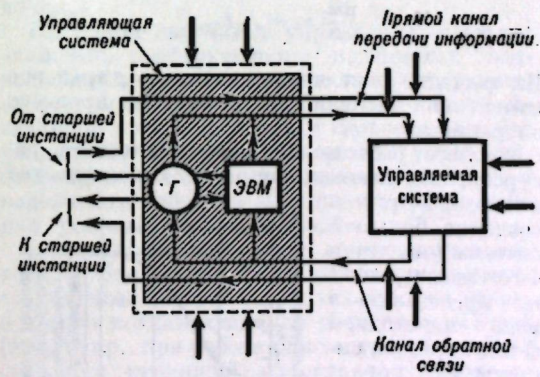


Рис. 2. Схема связей между управляющей и управляемой системами.

У. о. являются директор с его аппаратом, командир с его штабом и т. п., управляемой системой — производств. предприятие с системой цехов, осн. фондами, оборудованием; в военных условиях — части и подразделения войск, оснащенные техникой и вооружением. Каналы передачи информации между обеими системами могут иметь самую разнообразную технич. реализацию.

Для выполнения поставленных целей управляющая система посылает в управляемую по прямому каналу передачи информации сигналы управления (команды, приказы, распоряжения, планы действий и т. п.). По каналу обратной связи от управляемой системы поступает информация о ее состоянии, о результатах выполнения планов, приказов, команд и т. п. Разнообразные мешающие факторы (помехи, воздействия противника на управляемую и управляющую системы, на каналы передачи информации, неисправности, перебои производств. процесса) препятствуют исполнению цели управления (мешающие факторы показаны на рис. 2 жирными стрелками). В связи с этим весьма важны канал обратной связи и достоверность информации, поступающей по этому каналу. Кроме этого, в управляющую систему направляется поток информации от старшей инстанции в виде планов, указаний, распоряжений и т. п.

Существо управления состоит в переработке управляющей системой всей стекающей к ней информации и в принятии решений, к-рые доводятся до управляемой системы в виде планов, приказов, команд, сигналов управления и т. п.

В 1940—50-х гг. остро стал вопрос об автоматизации процесса У. о. Теоретич. предпосылками для этого явились *кибернетика* и теория исследования операций, технич. возможности появились после создания ЭВМ.

Неизбежность и необходимость автоматизации управления вытекают из анализа процесса планирования и оперативного У. о. и диктуются двумя обстоятельствами: оптимизацией режимов функционирования управляемой системы в соответствии с поставленными целями управления и невозможностью из-за скоротечности и сложности процессов (количество таких случаев непрерывно нарастает) коллективу, входящему в управляющую систему, без средств автоматизации справиться с переработкой поступающей информации и принимать не только оптимальные, но даже более или менее правильные или невредные решения.

На рис. 2 показано, что в автоматизированной системе У. о. часть информации (с целью ее переработки) замыкается через ЭВМ, и группа управления *Г* управляет операцией с ее помощью. Сложна и теоретически слабо разработана проблема взаимодействия между группой управления во главе с руководителем (командир, директор, руководители высших рангов и т. п.) и ЭВМ или даже системой ЭВМ. К этой же проблеме относится и проблема организации группы управления и системы взаимоотношений внутри группы в процессе управления («групповая динамика»).

Интерес представляет проблема «группа управления — система машин». Важнейший элемент процесса управления — принятие решения, остается за руководителем группы управления. Решение основывается на ряде данных, известных руководителю. Этими данными могут быть, в частности, результаты, полученные на основе методов теории исследования операции с помощью ЭВМ, морально-правовые и психологич. факторы. К решениям относятся утверждение плана и принятие мер в случае отклонения хода операции от сетевого плана и т. п.

При распределении ф-ций между группой и ЭВМ следует учитывать преимущества и недостатки машин и людей при переработке информации (см. также *Система «человек и автомат»*).

Люди способны использовать простые методы при принятии сложных решений, учиты-

вать маловероятные исходы, принимать разумные решения в неожиданных ситуациях (находчивость), добиваться одних и тех же или близких результатов различными средствами, легко и часто менять программу действий. Но человек сильно уступает машине в пропускной способности при переработке информации; его способности по применению решений сильно зависят от условий работы и обстановки, его психич. состояния. Машина же резко превосходит человека по пропускной способности, по быстрому действию при выполнении вычислит. и логич. операций и может работать в условиях и обстановке, вообще недоступных для человека. Громоздкость, сложность и длительность составления программ, почти полная неспособность (в настоящее время) к распознаванию зрительных и звуковых образов—недостатки машин, затрудняющие взаимодействие машины с группой и тормозящие процесс автоматизации. Для преодоления этих недостатков существенны развитие машинных методов *распознавания образов*, исследований по *эвристическому программированию* и, наконец, разработка спец. *машинных языков* для автоматизации программирования задач управления. В будущем все это, по-видимому, даст возможность создать машины, воспринимающие задачи управления на обычном инженерном языке,— обстоятельство, значение к-рого для резкого повышения эффективности автоматизированных систем управления трудно переоценить.

Системы У. о. обычно имеют иерархич. структуру (см. *Иерархичности принцип управления*). ЭВМ всех ступеней связываются между собой и образуют иерархич. систему вычислит. центров. Это может быть система вычислит. центров фирмы, комбината, экономич. р-на и, наконец, единая гос. система вычислит. центров страны. В целом образуется иерархическая система управления большого масштаба и сложности или просто «большая система». Большие системы интенсивно развиваются и имеют самое различное назначение и устройство. К ним относятся системы управления произ-вом в масштабе предприятий, экономич. р-нов совнархозов и выше; энергетич. системы; транспортные системы, большие военные системы — такие, как системы противовоздушной обороны и т. п.

Можно наряду с термином «большие системы» употреблять термин «сложные системы». Большие системы при этом—системы, процесс управления в к-рых обеспечивается благодаря творческому участию групп управления. *Сложные системы*, или комплексы, можно рассматривать как автоматич. устройства большого масштаба, функционирующие без непосредственного участия людей. К сложным системам относятся автоматич. предприятия (в первую очередь предприятия с вредным произ-вом), автоматич. гидроэлектростанции, электронные ЦВМ и системы машин, автоматич. системы связи и т. п.

В большинстве случаев сложные системы являются компонентами больших систем. Однако при алгоритмич. подходе, если оставить в стороне для больших систем проблему «группы управления — машины», для больших и сложных систем получается сходная теория. Это и послужило одной из причин, по к-рой иногда между этими терминами не делают различия.

Создание и разработка новых больших систем также представляет собой операцию в том смысле, в каком это понятие было определено в самом начале. Исходя из потребностей автоматизации управления такого рода операциями или разработками больших систем, и возникло сетевое планирование и управление.

С проблемой У. о. тесно связаны динамика операций, а также теория больших систем и разработка их математич. моделей. С точки зрения динамики операции можно разбить на два класса: операции нестационарные, или нерегулярные, протекающие за конечный промежуток времени T $(0<t<T)$ и операции стационарные, или регулярные, протекающие более или менее ритмично в течение любого промежутка времени. К 1-му классу относятся такие операции, как создание и строительство новых объектов, в т. ч. больших систем, и почти все боевые операции. Ко 2-му классу — операции по серийному произ-ву продукции на предприятиях.

При разработке математич. моделей операции и больших систем наблюдаются макроподход и микроподход. При макроподходе используются такие методы, как метод динамики средних [1] и методы теории автоматич. регулирования [2]. Один из частных случаев метода динамики средних — ур-ния Ланчестера (ур-ния течения боевой операции). Если m_1 и m_2 — средние численности сражающихся сторон, а Λ_1 и Λ_2— плотность пуассоновских потоков успешных выстрелов с обеих сторон, то, считая скорость убывания численности пропорциональной произведению плотности потока выстрелов на число стреляющих единиц, получим следующие линейные ур-ния:

$$\frac{dm_1}{dt} = -\Lambda_2 m_2,$$

$$\frac{dm_2}{dt} = -\Lambda_1 m_1.$$

Их решение дает представление о характере изменения численности сторон в процессе операции.

Процесс расхода нек-рого количества ресурсов, выделенных, напр., на строительство или разработку и создание большой системы (операция 1-го класса), можно представить в виде переходной ф-ции динамич. системы 2-го порядка (рис. 3). Этот процесс расхода ресурсов можно проанализировать в соответствии с параметрами дифференциального уравнения 2-го порядка. Во времени он разбивается на три этапа: начальный H, связанный с подготовит. работами; средний C, когда фронт работ развернут полностью. Этот этап характеризуется почти пост. скоростью расхода ресурсов; конечный этап K, когда происходит завершение всех работ, характеризуется, так же как и H, относительно малым расходом ресурсов.

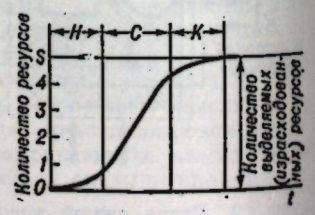


Рис. 3. Кривая процесса расходо-ресурсов.

Макроподход к системам 2-го класса позволяет использовать теорию следящих систем для оптимизации скорости процессов произ-ва серийной продукции в соответствии со спросом

на нее, стоимостью и возможностью хранения нереализованной продукции на складах.

Микроподход к динамике операций связан, как указывалось, с алгоритмич. описанием больших систем или с представлением больших систем, как своеобразных *конечных автоматов*. В самом деле, работа к.-л. предприятия (напр., по выпуску готовой продукции) легко может интерпретироваться как функционирование нек-рого конечного автомата.

С микроподходом связаны математич. модели операции в виде сетевого графа и модели сложных систем, предложенные в [3]. В последнем случае модель конструируется из совокупности агрегатов, являющихся обобщением динамических систем и конечных автоматов. В [4] даются аналитические методы моделей некоторых классов сложных систем, основанные на обобщении теории массового обслуживания.

Лит.: 1) Вентцель Е. С., Введение в исследование операций, М., 1964; 2) Процессы регулирования в моделях экономических систем. Сб. [переводных] статей, под ред. Я. З. Цыпкина и Б. М. Михалевского, М., 1961; 3) Бусленко Н. П., К теории сложных систем, «ИАН СССР. Техническая кибернетика», 1963, № 5; 4) Коваленко И. Н., О некоторых классах сложных систем. I, там же, 1964, № 6; 5) Гуд Г. Х., Макол Р. Э., Системотехника, пер. с англ., М., 1962. *Г. С. Поспелов.*

УПРАВЛЕНИЕ ПОДВИЖНЫМИ НАДВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ АВТОМАТИЧЕСКОЕ (automatic control of marine apparatus; commande automatique des navires de surface; automatische Steuerung für nichtstationäve Oberwasserobjekte) — производится только в горизонт. плоскости. Этим оно отличается от управления летательными объектами. Задача состоит в выводе надводных объектов на заданное направление (курс) и последующей стабилизации на заданном курсе. В ряде случаев осуществляется также умерение качки.

Внедрение автоматич. управления повышает экономич. эффективность подвижных надводных объектов и их тактико-технич. данные за счет более точного удержания объекта на заданном курсе, повышения скорости хода без увеличения мощности энергетич. установки, сокращения численности экипажа, повышения надежности работы всей аппаратуры, улучшения условий эксплуатации.

В процессе эксплуатации на подвижные надводные объекты воздействуют силы и моменты, создаваемые ветром и волнением на море, а также возникающие от движения объекта (так, напр., при работе одного гребного винта создается кренящий момент, а от крена — асимметрия обтекаемого водой корпуса; последнее, в свою очередь, вызывает появление сил и моментов, к-рые сбивают объект с заданного направления движения).

Для компенсации сил и моментов, воздействующих на подвижные надводные объекты, создаются управляющие силы и моменты [отклонением управляющих поверхностей (рулей) или изменением направления сил тяги], к-рые в режиме стабилизации компенсируют внешние возмущения, а в режиме маневра воздействуют на подвижный надводный объект и изменяют курс в желаемом направлении.

Более часто применяется принцип управления по отклонению от курса, реже — комбинированный, по отклонению с одновременной частичной компенсацией возмущения.

Автоматич. стабилизация курса осуществляется комплексом устройств, называемых авторулевой. Принцип работы авторулевого следующий: в качестве датчика текущего значения курса судна обычно используется гирокомпас (реже магнитный компас). При отклонении судна от заданного курса $\varphi_{зад}$ текущее значение $\varphi_{тек}$ будет отличаться от заданного значения; величина отклонения $\varphi = \varphi_{тек} - \varphi_{зад}$ поступает в цепь на формирование закона управления рулевым приводом. В зависимости от выбранного закона управления исполнит. элемент авторулевого вырабатывает заданное значение угла перекладки руля $\delta_{зад} = f(\varphi)$, к-рое в виде задающего значения поступает на след. рулевой привод (на небольших кораблях отдельный следящий рулевой привод отсутствует; в этом случае исполнит. элемент авторулевого непосредственно перекладывает руль на выработанное значение). Отклонение руля создает воздействие на судно, к-рое возвращает его к прежнему (заданному) курсу. При выходе на заданный курс $\varphi \simeq 0$. Установившееся положение руля при этом будет соответствовать балансировочному значению, к-рое не равно нулю при наличии возмущения.

Закон формирования управляющего воздействия может быть различным. Простейший случай — пропорциональное управление рулевым приводом. При этом угол отклонения руля пропорционален отклонению от заданного курса: $\delta_{зад} = k_\varphi \varphi$. Для большей точности стабилизации судна на курсе желательно увеличить коэфф. k_φ (для транспортных судов $k_\varphi = 0{,}5 - 1{,}3$ градус руля/градус курса), что ведет, однако, к сокращению запаса устойчивости всей системы. Поэтому закон пропорционального управления в чистом виде не применяется. Для повышения точности удержания судна на курсе в закон управления, кроме сигнала $k_\varphi \varphi$, вводится сигнал, пропорциональный скорости отклонения от курса $k_{\dot\varphi} d\varphi/dt$. Применение такого закона управления значительно повышает запас устойчивости всей системы и позволяет значительно повысить точность стабилизации судна на курсе путем увеличения коэффициента $k_\varphi = 2—5$ градус руля/градус курса. В ранее выпускавшихся авторулевых грубая имитация сигнала $k_{ос} \cdot \delta k_{\dot\varphi} \frac{d\varphi}{dt}$ достигалась введением регулируемого люфта в цепи жесткой обратной связи. В закон управления обычно вводится третий сигнал, пропорциональный интегралу от угла отклонения по времени $k_{инт} \int \varphi\, dt$, к-рый позволяет сохранять генеральный курс судна при возмущениях, имеющих пост. составляющую. Правильный подбор величины этого сигнала способствует устранению бокового сноса судна, возникающего от момента, вызванного ветром и волнением на море. Для полного устранения бокового сноса судна от течения и др. причин в систему авторулевого вводится коррекция по курсу от радиолокац. станции либо др. навигац. комплекса.

Крупносерийно выпускаются авторулевые типов АБР (автоматич. бесконтактный рулевой), АР (автоматич. рулевой) и ряд др. Эти авторулевые разработаны с учетом возможности установки их не только на вновь строящиеся, но и на находящиеся в эксплуатации корабли. АБР устанавливается на транспортные и рыболовецкие суда, оснащенные электрич., электрогидравлич. или паровой рулевой

машиной, АР — на большегрузные суда с гидравлич. рулевой машиной. АБР отличается от АР только конструктивной компоновкой и исполнит. устройством. АР состоит из пульта управления, исполнит. двигателя с редуктором и датчика обратной связи. В АБР используется дополнительно усилитель мощности — электромашинный усилитель типа ЭМУ-3 — ЭМУ-50 (схематич. размещение элементов на судне приведено на вклейке в т. 3, стр. 64). Осн. прибор системы — пульт управления, в к-ром на электромеханич. счетно-решающих элементах типа вращающихся трансформаторов, асинхронных тахометрах и асинхронных двигателях формируется закон управления в виде напряжения перем. тока. После усиления предварит. усилителем сигнал поступает на усилитель мощности или непосредственно на исполнит. двигатель, кинематически связанный с редуктором судовой рулевой машины.

Принятый закон управления имеет вид:

$$k_{\text{ос}}\delta_{\text{зад}} = k_{\varphi}\varphi + k_{\dot{\varphi}}\frac{d\varphi}{dt} + k_{\text{инт}}\int \varphi dt,$$

где $\delta_{\text{зад}}$ — заданное значение угла отклонения руля; φ — отклонение по курсу; $k_{\text{ос}}$ — коэфф. обратной связи (регулятор погоды); k_{φ}, $k_{\dot{\varphi}}$ $k_{\text{инт}}$ — коэфф., зависящие от параметров объекта.

В авторулевом типа АБР (см. вклейку в т. 3, стр. 64) датчиком текущего значения курса $\varphi_{\text{тек}}$ (*1*) служит гирокомпас типа «Курс» или др., к-рый оборудован сельсином-датчиком. $\varphi_{\text{тек}}$ по синхронной связи вводится с помощью сельсина-приемника (*2*) на формирование закона управления. Сельсин-приемник (*2*) кинематически связан с асинхронным тахометром типа АДП-123Б (*4*), к-рый вырабатывает сигнал, пропорциональный производной от курса.

Ввод заданного значения курса осуществляется штурвалом. Сигнал, пропорциональный углу отклонения от заданного курса $\varphi = \varphi_{\text{тек}} - \varphi_{\text{зад}}$, вырабатывается на механич. дифференциале и в виде угла поворота поступает на линейный вращающийся тр-р ЛВТ-«К» (*7*) и сельсин-датчик типа БД-404 *b* (*9*). Напряжение перем. тока, снимаемое с ЛВТ-«К» (*7*) и пропорциональное углу отклонения от заданного курса, суммируется с напряжением, пропорциональным производной от курса, к-рое усиливается по напряжению на усилителе (*6*). Напряжение, пропорциональное $k_{\text{инт}}\int \varphi dt$, вырабатывается интегрирующим устройством, к-рое состоит из сельсина-датчика типа БД-404 *b* (*9*) и асинхронного двигателя типа ЗАСМ-50 (*11*). Скорость вращения ЗАСМ-50 пропорциональна углу отклонения от курса φ. Асинхронный двигатель через большую редукцию связан с ЛВТ-«ИНТ» (*12*) и масштабным вращающимся тр-ром БД-404Б (*8*). Напряжение с интегрирующего линейного вращающегося тр-ра ЛВТ-«ИНТ» (*12*), пропорциональное $k_{\text{инт}}\int \varphi dt$, суммируется с двумя сигналами управления, к-рые получены ранее. Этот суммарный сигнал поступает на вход транзисторного усилителя (*15*), на к-рый также приходит сигнал обратной связи $k_{\text{ос}}\delta_{\text{зад}}$, вырабатываемый на линейном вращающемся тр-ре ЛВТ-«Р» (*14*). Усиление мощности выходного сигнала происходит в электромашинном усилителе (*16*), на выходе к-рого включен исполнит. двигатель (*17*), кинематически связанный с рулем и рулевым датчиком обратной связи ЛВТ-«Р» (*14*).

В аппаратуре предусмотрена возможность изменения крутизны сигнала обратной связи путем изменения напряжения питания ЛВТ-«Р» (*14*). Это осуществляется поворотом ротора масштабного вращающегося тр-ра МВТ-Р (*10*) рукояткой чувствительности. Для контроля работы на пульте управления установлен двухшкальный репитер курса (*3*) и указатель заданного положения руля (*5*).

Кроме рассмотренного автоматич. режима управления, в аппаратуре АБР и АР предусмотрен второй режим работы — «электрич. управление», при к-ром поворот штурвала пропорционален углу отклонения руля. Имеется также возможность управления с выносных пультов в режиме управления рулевым приводом по скорости. Точность удержания объекта на курсе при автоматич. управлении выше в 1,5—2 раза. Количество кладок руля при этом возрастает, но угол отклонения руля уменьшается, перекладка производится плавнее.

Реже в систему управления подвижными надводными объектами, кроме автоматич. управления курсом, включают умерение качки объекта. Закон умерения качки незначительно отличается от принятого в режиме стабилизации курса:

$$\Delta\delta_{\text{зад}} = k_{\theta}\theta + k_{\dot{\theta}}\frac{d\theta}{dt},$$

где $\Delta\delta_{\text{зад}} = \delta_{\text{пр}} - \delta_{\text{лев}}$ — угол разворота рулей, k_{θ}, $k_{\dot{\theta}}$ — коэфф. регулятора, θ — угол качки. Обе системы стабилизации взаимно связаны: появление качки вызывает дополнит. отклонение по курсу, маневры в горизонт. плоскости — крены объекта. Однако при проектировании системы управления эти связи учитывают редко, т. к. добиться инвариантности двух систем практически трудно, особенно при сильном волнении.

Кроме системы управления направлением движения, на надводных объектах имеется целый ряд автоматич. систем, напр. система управления энергетич. установкой и др., но они пока не получили широкого распространения.

Лит.: 1) Шлейер Г. Э., Экспериментальные исследования авторулевого типа АБР, «Тр. Центр. н.-и. ин-та морского флота», 1963, вып. 47; 2) Фрейдзон И. Р., Судовые электромеханизмы, Л., 1958; 3) Тетюев Б. А., Грозная Ц. И., Современные авторулевые, М., 1960.

Г. Э. Шлейер.

УПРАВЛЕНИЕ ПОДВИЖНЫМИ ПОДВОДНЫМИ ОБЪЕКТАМИ АВТОМАТИЧЕСКОЕ (automatic control of submarine apparatus; commande automatique des sous-marins; automatische Steuerung für nichtstationäve Unterwasserobjekte)—характеризуется тем, что вертик. положение объекта (глубина) в процессе плавания может изменяться. Этим оно отличается от управления надводными объектами. Поэтому, кроме систем управления по курсу и стабилизации крена, здесь предусматривают систему автоматич. управления по глубине. Особенность работы системы управления подводными объектами в том, что уже на незначит. глубине волнение моря не влияет на положение объекта. Существенно также ограничение диапазона плавания в вертик. плоскости. Провалы ниже допустимых глубин могут привести к гибели объекта. Поэтому система управления в вертик. плоскости должна обладать высокой надежностью. Для повышения безопасности

плавания, а также маневренности подводных объектов управление движением в вертик. плоскости производится как управляющими поверхностями (рулями глубины), так и путем приема или продувания воды в спец. цистернах. Это создает положительную либо отрицат. плавучесть, воздействующую на объект в вертик. плоскости. Состояние считается нормальным, когда объект полностью удифферентован на данной глубине, т. е. плавучесть его равна нулю.

В подвижных подводных объектах размещение людей и создание благоприятных условий для их работы затруднено. Поэтому количество обслуживающего персонала стремятся сокращать, а это выдвигает дополнит. требования к системам управления.

Применение атомных энергетич. установок позволило существенно повысить скорости плавания под водой, что, в свою очередь, значительно подняло требования к системе управления объектом в вертик. плоскости.

Автоматич. система управления объектом по глубине предусматривает два режима работы: стабилизацию объекта на заданной глубине и переходы с одной глубины на другую.

Закон управления рулевым приводом имеет вид $\delta = f(h, \psi, v)$, где h — рассогласование по глубине, v — скорость хода объекта, ψ — текущее значение дифферента, δ — угол отклонения руля глубины.

Параметры регулятора выбираются с таким расчетом, чтобы управление возможно ближе приближалось к оптимальному как по быстродействию в режиме переходов, так и по точности в режиме стабилизации.

Хар-ки управляемого объекта зависят от скорости хода; поэтому параметры регулятора должны также изменяться в ф-ции от скорости хода объекта. Это накладывает дополнит. требования к системе управления; разработка ее должна вестись с учетом параметров энергетич. установки. Оптимальные (по быстродействию и заданному качеству) переходы получаются при работе с прогнозирующим устройством.

Обычно подводные объекты имеют выступающую рубку управления, к-рая делает их несимметричными. Выполнение к.-л. маневров в горизонт. плоскости (по курсу) вызывает поэтому дополнит. силы и моменты, воздействующие на объект в вертик. плоскости и относительно продольной оси. Для достижения инвариантности управления по курсу и глубине в систему управления должны вводиться дополнит. перекрестные связи. Повысить эффективность управления в вертик. плоскости можно искусств. раздифферентовкой объекта, создавая положительную либо отрицательную плавучесть.

Для облегчения работы оператора сконструирована электронная система «Коналог», позволяющая представить на экране окружающую обстановку и положение собств. объекта, к-рая работает совместно с инерц. системой управления «Sins» и вычислит. машиной «Navdac» на атомных подводных лодках (США).

Лит.: «Морской сборник», 1963, № 3, 4, 8; 1964, № 1; «Экспресс-информация. Судостроение и водный транспорт», 1962, № 1; Горенштейн И. А., Шульман И. А., Сафарян А. С., Инерциальная навигация, М., 1962; «Электроника» (США), рус. пер., 1961, т. 34, № 1, с. 40—41; 1962, т. 35, № 23, с. 16—22.

Г. Э. Шлейер.

УПРАВЛЕНИЕ РЕЖИМАМИ ЭНЕРГОСИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОЕ (electronetwork regime control; commande automatique de régimes des réseaux électriques; automatische Steuerung für Betriebs energiesysteme). Осн. параметры, регулируемые с помощью У. р. э. а.,— частота электрич. тока, напряжения узловых точек электрич. сетей, активные и реактивные мощности и токи возбуждения генераторов электростанций и синхронных компенсаторов, потоки активных и реактивных мощностей в электрич. сетях энергосистем и межсистемных связях, давление и темп-ра пара, нагрузки котельных агрегатов, количество подаваемого воздуха, разрежение в топках котлов и т. д. Кроме того, автоматически могут срабатывать выключатели в электрич. сетях и т. п. аппараты.

У. р. э. а. состоит из автоматики надежности (АН), автоматики качества энергии и автоматики экономич. распределения.

Автоматика надежности (АН) — совокупность автоматических устройств, действующих при возникновении аварийного повреждения оборудования и способствующих быстроте ликвидации аварии, ограничению ее последствий, предотвращению развития аварий в энергосистеме и тем самым макс. снижению перерывов в электроснабжении. Наиболее распространенные устройства АН — релейная защита электрич. оборудования (см. *Защита электропередач переменного тока* и *Защита электропередач постоянного тока*), автоматич. аварийная разгрузка энергосистемы, автоматическое повторное включение, автоматическое включение резерва, автоматич. самосинхронизация, автоматич. частотный пуск остановленных агрегатов гидростанций, автоматич. регуляторы возбуждения генераторов.

Автоматич. аварийная разгрузка энергосистем (ААР) обеспечивает сохранение баланса мощности в энергосистемах при тяжелой аварии, сопровождающейся потерей большой генераторной мощности и снижением частоты переменного тока. При срабатывании ААР автоматически отключается ряд потребителей энергосистемы, что позволяет сохранить баланс мощностей и предотвращает сильное снижение частоты и напряжений, угрожающее нарушением статич. устойчивости всей энергосистемы, т. е. полным развалом ее работы. ААР состоит из ряда очередей, каждая из к-рых действует при снижении частоты до определ. заданной величины и отключает определ. группу потребителей. Различные очереди ААР отличаются уставкой частоты срабатывания, а в ряде энергосистем и временем их действия (уставкой реле времени). Разбивка ААР на очереди предотвращает излишнее отключение потребителей, т. к. при отключении достаточного их числа частота повышается, не допуская срабатывания следующих очередей ААР. Имеется тенденция применения автоматич. обратного включения потребителей, ранее отключенных ААР.

Автоматическое повторное включение (АПВ) автоматически повторно включает линию передачи после ее автоматич. отключения. Часто имеет место успешное АПВ (кратковременное обесточивание приводит к самоликвидации аварии), и поврежденная линия остается в работе. АПВ имеет особо

важное значение для одиночных линий, т. к. успешное АПВ предотвращает обесточивание потребителей. Для многоцепных линий АПВ автоматически восстанавливает нормальную схему питания. Наконец, АПВ на линиях, соединяющих электростанцию с нагрузкой, повышает надежность использования данной электростанции. АПВ делится на: трехфазное (отключение всех трех фаз при повреждении хотя бы на одной из них) и однофазное (отключение только поврежденной фазы). АПВ линий, идущих от электростанций, выполняется как с проверкой синхронизма, так и без нее. Длительность цикла АПВ определяется по условиям гашения дуги (миним. длительность) и по условиям устойчивости (макс. длительность).

Автоматическое включение резерва (АВР) включает резервное оборудование при аварийном отключении основного. Напр., при питании группы потребительских линий от одного тр-ра при его отключении (из-за повреждения или по иной причине) АВР включает линии к др. тр-ру, чем восстанавливается нормальное электроснабжение потребителей. АВР широко применяется во всех случаях, когда по условиям электрич. схемы он может быть осуществлен.

Автоматическая самосинхронизация обеспечивает включение (обычно в аварийных случаях) генераторов методом самосинхронизации. Сущность метода в том, что невозбужденный генератор включается в сеть и затем на него подается возбуждение. Самосинхронизация обеспечивает быстрое включение генераторов и ускоряет ликвидацию аварии, позволяя в короткий срок использовать мощность генераторов, потерявших связь с энергосистемой.

Автоматич. частотный пуск (АЧП) остановленных агрегатов гидроэлектростанций действует от снижения частоты в электросистеме, возникающего при потере большой генераторной мощности. АЧП приводит гидротурбины в действие, доводит их скорость до нормальной и производит самосинхронизацию с сетью. АЧП должен работать при более высоком значении частоты, чем аварийная разгрузка энергосистемы, чтобы по возможности предотвратить действие последней.

Автоматические регуляторы возбуждения синхронных машин обеспечивают повышение статической и динамической устойчивости энергосистемы (см. *Возбуждения система*).

Автоматика качества энергии (АКЭ) поддерживает надлежащее значение таких параметров, как напряжение, частота, давление и темп-ра пара и т. д. АКЭ заменяет действия оперативного персонала и позволяет повысить качество энергии за счет более быстрой и чувствит. реакции на ухудшение качественных показателей. Наиболее распространенные устройства АКЭ — автоматич. регуляторы возбуждения синхронных генераторов, автоматич. устройства изменения коэфф. трансформации тр-ров, автоматич. регулировочные тр-ры, автоматы изменения мощности статич. конденсаторов, автоматич. регуляторы частоты (АРЧ), автоматич. регуляторы частоты и межсистемных перетоков мощности (АРЧМ). Первая группа устройств АКЭ (кроме АРЧ и АРЧМ) позволяет автоматически поддерживать напряжения в ряде узловых точек электрич. сетей в заданных пределах.

АРЧ — устройства, регулирующие частоту в энергосистемах, могут быть установлены на одной или на ряде электростанций. Чем больше число электростанций с АРЧ, тем точнее регулируется частота в энергосистеме и тем меньше доля участия каждой электростанции в автоматич. регулировании частоты, что повышает экономичность регулирования. Для объединенных энергосистем широко применяется комбинированное автоматич. регулирование частоты и межсистемного перетока мощности с помощью АРЧМ.

Автоматика экономического распределения (АЭР) обеспечивает оптимальное распределение активных и реактивных мощностей в энергосистеме. В принципе могут применяться следующие виды АЭР: 1) счетно-решающие устройства, определяющие на основании вводимой в них информации оптимальное распределение мощностей; 2) управляющие машины, непрерывно перерабатывающие получаемую информацию и воздействующие через телеканалы связи на станционные устройства так, чтобы обеспечить оптимальное распределение мощностей.

Счетно-решающие устройства устанавливаются на диспетчерских пунктах энергосистем и являются «советчиками» диспетчера. В них непрерывно вводятся данные о суммарной мощности электростанций, частоте и т. п. Расчет оптимального распределения мощностей может производиться как непрерывно, так и по запросу диспетчера. В счетно-решающих устройствах могут учитываться не только расходные хар-ки затрат на отдельных электростанциях, но и влияние потерь энергии в электрич. сетях, а также различных ограничений распределения мощностей (предельные мощности агрегатов, предельные нагрузки передач и т. п.). Распространение получили только устройства для экономич. распределения активных мощностей аналогового типа, но начинают внедряться и ЦВМ. Их использование позволяет вести расчеты по более точным методам, а также вычислять комплексное распределение активных и реактивных мощностей. Управляющие машины могут применяться или для автоматич. сообщения диспетчерских заданий персоналу электростанций, или, в более развитом варианте, для непосредств. воздействия на агрегаты электростанций.

Автоматика экономич. распределения и автоматич. регуляторы частоты могут работать независимо друг от друга, но могут быть и взаимосвязаны. В последнем случае АРЧ предотвращает отклонение частоты, используя для этой цели изменения мощностей отдельных агрегатов станций, независимо от условий экономич. распределения только в пределах сравнительно небольшого изменения суммарной нагрузки. При достаточно значительном изменении суммарной нагрузки приходит в действие АЭР и изменяет тем или иным способом уставки мощности на АРЧ отдельных электростанций. При независимости АЭР от АРЧ уставки АРЧ изменяются диспетчером после получения ответа на запрос АЭР.

Лит.: Маркович И. М., Режимы энергетических систем, 3 изд., М.—Л., 1963; Соловьев И. И., Автоматизация энергетических систем, 2 изд., М.—Л., 1956; Маркович И. М. [и др.], Современное состояние применения вычислительной техники при эксплуатации и проектировании энергосистем, «Э-во», 1960, № 11; Веников В. А., Переходные электромеханические процессы в электрических системах, М.—Л., 1964.

И. М. Маркович.

УПРАВЛЕНИЕ С НАКОПЛЕНИЕМ ИНФОРМАЦИИ (data-storage control; commande avec accumulation d'information; Steuerung mit Informationsspeicherung) — управление, при котором в управляющем устройстве в ходе процесса накапливается недостающая информация об управляемом объекте (УО) и (или) информация о способах управления объектом.

Для успешного управления необходимы два вида информации: а) информация 1-го рода — о хар-ках УО; б) информация 2-го рода — о методе успешного или наилучшего управления объектом с известными хар-ками. Информацию 2-го рода можно получить в результате теоретич. исследования (см. *Оптимальные системы*) до разработки данного устройства; в этом случае она может быть заложена в УУ при его разработке. Такие системы назовем системами с полной информацией о методах управления. Эти системы, в свою очередь, можно разделить на ряд типов в зависимости от полноты информации о хар-ках УО [1]. Если все виды информации об объекте [закон зависимости выходных величин — вектора $x(t)$ — от входных векторов u, z, x^*; возмущения $z(t)$, действующие на объект; состояние объекта, т. е. значение $x(t)$; цель управления, т. е. критерий качества; значение задающего воздействия — вектора x^*] введены заранее в УУ или обеспечиваются поступающей на него текущей информацией, а воздействия регулярны, то система наз. системой с полной информацией об объекте. В такой системе можно рассчитать ее будущее поведение на основании текущих измерений.

В этом случае в УУ не производится никакого накопления информации и текущее значение $u(t)$ управляющего воздействия определяется текущими же значениями величин $x(t)$, $x^*(t)$ и, если производится измерение возмущения, текущим значением $z(t)$. Если x^* или z — чисто случайные или марковские случайные процессы, то их текущие значения еще не позволяют предсказать будущее поведение системы. Накопление информации о «предыстории» воздействий не поможет в улучшении прогнозов, ибо для процессов указанного выше типа при их известных априорных вероятностных хар-ках прогноз не улучшается от знания прошедших значений и определяется лишь текущим состоянием. Поэтому в данном случае управление также должно вестись без накопления информации на базе одних лишь текущих значений. Такие системы наз. системами с максимальной неполной информацией об объекте.

Если информация о величинах x, x^* и z может увеличиться, накапливаться со временем при их наблюдении в ходе процесса, то для оптимального или достаточно эффективного управления становится необходимым накопление информации. Последнее осуществимо, если эти процессы случайные и более сложные, чем марковские. Весьма часто накопление информации необходимо вследствие того, что полезный сигнал проходит на УУ через канал с помехами. Выделение сигнала на фоне помех происходит, как правило, тем лучше, чем больше время наблюдения, т. е. чем большая информация о прошедших значениях принятого сигнала накоплена в УУ.

Системы с накоплением информации могут быть разделены на 2 типа: системы с пассивным накоплением информации и системы с активным накоплением информации (системы *дуального управления*). В системах 1-го типа процесс накопления информации не зависит от управляющих воздействий $u(t)$, подаваемых УУ на УО. Этот случай имеет место, напр., если накапливается информация о поступающем извне воздействии, причем отсутствует возможность влияния на источник этого воздействия. Поэтому единств. возможность накопления информации состоит в наблюдении воздействия. В системах 2-го типа темп накопления информации зависит от значений $u(t)$. Поэтому управление становится более успешным при учете этой зависимости. В данном случае управляющее воздействие имеет двойственный, дуальный характер. С одной стороны, оно представляет собой пробные воздействия; наблюдение реакций объекта на эти воздействия позволяет лучше изучить его хар-ки. С др. стороны, управляющее воздействие служит для приведения объекта к требуемому режиму.

Обычно информация об УО в УУ накапливается не в форме прошедших значений входных и выходных величин объекта, а в переработанном виде — напр., в виде оценок параметров объекта, найденных в результате наблюдений [3]. В УУ может быть заложена информация в виде априорных вероятностных хар-к УО. При более низком уровне априорной информации эти хар-ки известны не полностью и требуется их дополнит. изучение в процессе управления. Наконец, при еще более низком уровне априорной информации хар-ки объекта вообще неизвестны; их требуется определить в процессе управления.

Если информация 2-го рода неполная или вовсе отсутствует, то в процессе управления необходимо накопление информации о способах управления объектом. Существуют системы, в к-рых процессы накопления информаций 1-го и 2-го родов разделены. Один из блоков УУ служит для изучения хар-к УО, другой блок вырабатывает эффективную или оптимальную стратегию управления. Она не заложена заранее в УУ, а создается в нем автоматически и зачастую даже неизвестна заранее конструктору автомата. Определяться такая стратегия может, напр., путем *поиска автоматического* на модели объекта, в к-рую закладываются значения его параметров. Последние найдены путем накопления информации об УО.

В др. типе систем отсутствует раздельное накопление информаций 1-го и 2-го родов. В этом случае происходит сразу накопление информации о методах управления, оказавшихся успешными в применении к данному УО. Напр., УУ может пробовать различные методы управления и запоминать лишь те из них, к-рые оказались эффективными, с одновременным запоминанием тех ситуаций (состояние объекта, значения внешних воздействий), когда данные методы управления дали хорошие результаты. Для этой цели могут быть применены различные методы автоматич. поиска оптимальных или эффективных методов управления на реальном объекте [2]. Системы данного типа часто вовсе не требуют

предварит. изучения хар-к объекта; однако это достоинство покупается, как правило, ценой большего объема информации, к-рый должно накопить УУ в процессе работы, вследствие чего процесс поиска эффективного режима замедляется.

Лит.: 1) Фельдбаум А. А., Основы теории оптимальных автоматических систем, М., 1963; 2) его же, Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; 3) Бородюк В. П., Круг Г. К., Отыскание уравнений связи в сложных объектах, «АиТ», 1961, т. 22, № 11.

А. А. Фельдбаум.

УПРАВЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ТЕОРИЯ [theory of automatic control; théorie de la commande automatique (Automatique); Theorie der automatischen Steuerung] — наука о принципах построения систем автоматич. управления и о закономерностях протекающих в них процессов; основное ядро общей теории управления — кибернетики. Содержание и методы У. а. т. раскрываются в ее важнейших понятиях: управляемый объект, возмущающее воздействие, управление, автоматич. управляющее устройство, система автоматич. управления.

Управляемый объект — динамич. система любой природы, изменяющая свои хар-ки и значения величин, определяющих состояние объекта, под влиянием внешних *возмущающих воздействий*. Объект, как правило, не способен самостоятельно противодействовать влиянию любых внешних возмущений. Поэтому, организуется спец. воздействие извне, обеспечивающее исполнение требований к хар-кам объекта и значениям величин, определяющих его состояние. Таким воздействием служит *управляющее воздействие*. Совокупность автоматич. управляющего устройства и управляемого объекта, взаимодействующих между собой, образует систему автоматич. управления (САУ).

У. а. т. абстрагируется от природы, конкретного предназначения и конструктивных особенностей управляемого объекта и автоматич. устройств. Предмет ее изучения: процессы в системе управления, к-рые она исследует на динамич. моделях действит. систем. Цель У. а. т.: построение работоспособных и точных систем управления. Методы У. а. т. позволяют установить надлежащую структуру системы управления, определить значения параметров ее элементов и выяснить характерные особенности процессов, протекающих в системе. Таким образом, У. а. т. предсказывает динамич. св-ва систем управления в целом еще до их практич. исполнения. При этом конструирование автоматич. устройств сводится к технич. воплощению разработанной схемы структуры системы управления при уже определенных значениях параметров ее элементов.

Классификация систем У. а. т. ведется по функциональным признакам, к-рые определяют взаимные связи между переменными и характер преобразования сигналов при их прохождении через элементы этих систем. Важнейшие признаки классификации САУ: цель *управления* (закон изменения управляемых величин объекта или характер изменения его состояния), способ управления, принцип формирования сигналов и характер взаимной зависимости между ними.

Простейшая и в то же время наиболее распространенная цель управления: поддержание заранее заданных законов изменения во времени управляемых величин объектов. Ниже приводятся 3 вида систем управления с такой целью, объединенных одним назв. САР: системы автоматической стабилизации (см. *Стабилизатор*), *программного регулирования системы* и *следящие системы*.

В ряде случаев состояние объекта или свойства САУ характеризуется нек-рым показателем — ф-цией неск. переменных в оптимальном режиме, принимающем экстремальное значение, меняющееся с изменением внешних возмущений или хар-к объекта. САУ, предназначенные для установления экстремума показателя оптимума или для поддержания его в допустимых пределах, именуются приспосабливающимися, или адаптивными, системами управления (см. *Самоприспосабливающаяся система*).

Способ управления определяет принцип образования управляющего воздействия, к-рый воплощается в блочной и функциональной схеме САУ. Обе эти схемы представляют взаимодействие между частями системы, выполняющими характерные для них ф-ции, а различие между этими схемами состоит в степени детализации ф-ций. Автоматич. системы по способу управления разделяются на разомкнутые и замкнутые. В *разомкнутых системах* управляющее воздействие u формируется управляющим устройством A в ф-ции либо задающего воздействия x_0 (рис. 1), либо возмущающих воздействий Z_1 и Z_2, влияющих на управляемый объект B. В этих случаях цель управления состоит в поддержании заданного закона $x_0(t)$ изменения управляемой величины $x(t)$. В первом случае системе управления непосредственно задается закон $x_0(t)$; во втором — этот закон исполняется косвенным образом. Для этого управляющее устройство использует известную из теории объекта зависимость $u = f(Z_1)$ при $x = x_0$. Такой способ управления именуется управлением по возмущающему воздействию. Коренной недостаток разомкнутых систем управления: они не учитывают влияния части воздействий, к-рые, естественно, нарушают идеальные соотношения между действит. значением управляемой величины x и управлением u. Так, на рис. 1 Z_1 и Z_2, неучтенные в законе образования управления u, отклоняют x от x_0. А в случае, представленном на рис. 2, отклонение x от требуемого закона x_0 происходит под влиянием второго неучтенного возмущения Z_2. Но даже при учете всех возмущений, что в подавляющем числе случаев практически неосуществимо, такое управление не способно противостоять изменению внутр. свойств самих объектов. Кроме того, разомкнутые системы принципиально неспособны управлять неустойчивыми объектами. В *замкнутых системах* управления управляющее воздействие u формируется в ф-ции отклонения $\varepsilon = x_0 - x$ фактич. значения управляемой величины x от требуемого закона ее изменения x_0. Т. о., следствие нарушения желаемого закона превращается в причину восстановления этого закона. Эта фундаментальная идея

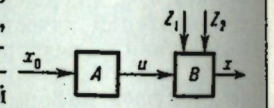


Рис. 1.

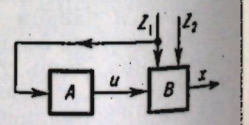


Рис. 2.

У. а. т. известна как принцип отклонения, приводящий к системам с отрицат. *обратной связью*, в к-рых последняя несет сообщение о фактич. значении управляемой величины. Универсальность и эффективность этого принципа состоит в том, что он позволяет осуществить заданный закон изменения управляемой величины независимо от вызвавших рассогласование ε причин, к-рые, как правило, не поддаются непосредств. измерению. Универсальность этого принципа подчеркивает и то, что он позволяет управлять объектами с разными динамич. св-вами и, в частности, неустойчивыми объектами, что недостижимо в разомкнутых системах. Блок-схема замкнутой САР (рис. 3, где R — регулятор, состоящий из элемента сравнения, определяющего ε, и управляющего устройства A, вырабатывающего управляющее воздействие u) способна осуществить любой закон изменения управляемой величины — стабилизацию, программное изменение, слежение, и обладает важной особенностью: распространение воздействий происходит по замкнутому контуру строго в одном направлении (на рис. показано стрелками); управляющее устройство воздействует на объект, получает сообщение о фактич. реакции объекта по цепи обратной связи и образует новое значение управления, учитывающее действит. значение управляемой величины. Эффективность замкнутых САР увеличивается введением связей, характерных для разомкнутых систем. На рис. 4 приведена блочная схема комбинированной системы управления, сочетающей принципы построения замкнутой системы с воздействиями по возмущениям. Здесь на управляющее устройство действуют каналы разомкнутого управления от задающего воздействия x_0 и возмущения Z_1. Разомкнутые системы не имеют самостоят. значения, но используются в комбинации с основным принципом управления — принципом отклонения. Можно установить показатель оптимума объекта или системы управления в виде ф-ции $Q(x, x_0, Z_i)$. Но эта ф-ция не остается неизменной, а между тем требуется либо устанавливать ее экстремальное значение, либо удерживать ее изменения в узких пределах. Такую цель управления решают приспосабливающиеся, или адаптивные системы (блок-схема на рис. 5). Показатель оптимума Q определяется спец. устройством (на рис. не изображено), помещаемым в устройство автоматич. адаптации A_1. Последнее вырабатывает управляющее воздействие u_1, вводимое либо в управляющее устройство A САР S, либо по каналу, показанному штриховой линией, и устанавливает необходимое значение задающего воздействия этой системы. Замкнутый контур в схеме приспосабливающейся системы состоит из взятой в целом САР S и устройства адаптации A_1. Приспосабливающиеся автоматич. системы также вырабатывают управляющее воздействие в ф-ции отклонения системы от нек-рого состояния. Но самый факт отклонения определяется в результате анализа в течение нек-рого промежутка времени реакции системы на возмущение. Такой принцип образования управляющего воздействия неизбежен для обнаружения того факта, что показатель оптимума достиг экстремума или заданной области его значений.

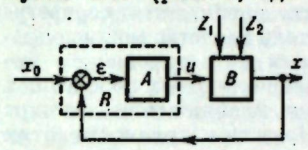


Рис. 3.

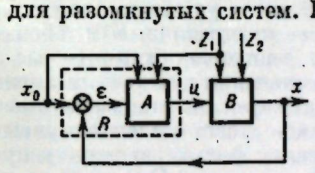


Рис. 4.

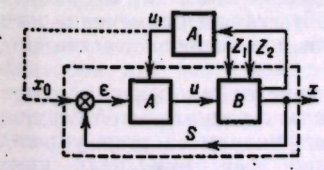


Рис. 5.

Существуют 2 вида приспосабливающихся систем: поисковые и беспоисковые. В *поисковых системах* вводится пробное возмущение — искусственно образованный сигнал, анализируется результат его действия на системы и определяется направление движения к экстремуму или к заданной области значений. В *беспоисковых системах* используются естеств. возмущения, анализ влияния к-рых позволяет определить реакцию системы и ее состояние. На рис. 6 показана схема автоматич. системы, приспосабливающейся к внешним условиям. Здесь цепь адаптации разомкнута и ей присущи недостатки разомкнутых систем. Именно поэтому приспосабливающейся системой в полном смысле этого слова может быть лишь замкнутая система, или система комбинированная, учитывающая как отклонения от желаемого состояния, так и влияние внешних возмущений. Приспосабливающиеся автоматич. системы появились недавно, теория их находится еще в начальной стадии развития, а опыт применения невелик. Поэтому и классификация этих систем не может считаться законченной. Они делятся на экстремальные, самонастраивающиеся, самоорганизующиеся, самообучающиеся. *Экстремальные системы* устанавливают экстремум показателя Q, меняя в процессе поиска задающие воздействия САР x_0. *Самонастраивающиеся системы* поддерживают заданное или экстремальное значение показателя Q, к-рый в этом случае служит показателем динамич. св-в САР S. При этом управляющее устройство адаптации A_1 изменяет параметры управляющего устройства A САР S. *Самоорганизующиеся системы*, так же как и самонастраивающиеся, поддерживают заданное или экстремальное значение показателя качества Q, но изменяют при этом как параметры, так и структуру устройства A. *Самообучающаяся система* постепенно совершенствует алгоритм своего действия, анализируя в течение нек-рого промежутка времени опыт управления объектом и приводя показатель оптимума к области его допустимых или экстремальных значений.

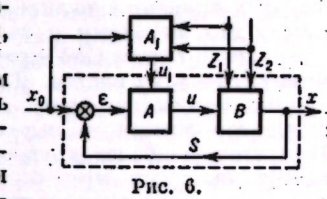


Рис. 6.

Принцип действия САУ определяется видом образующихся сигналов и характером функцион. зависимости между выходными и входными сигналами элементов системы. В реальной системе воздействия представляют собой физич. переменные, значения к-рых определяются специфич. параметрами: мгновен-

ными значениями, высотой или шириной импульса и т. д. Сигналом именуется ф-ция времени, в соответствии с к-рой изменяется параметр физич. воздействия. Вид сигнала зависит от вида ф-ции. По этому признаку системы управления делятся на системы непрерывные и дискретные. В первых все элементы формируют сигналы в виде непрерывных ф-ций времени. Во вторых присутствует по крайней мере один элемент, производящий квантование непрерывных сигналов по уровню, по времени, либо одновременно по обоим (см. *Дискретизация*). В соответствии с этим дискретные системы, в свою очередь, делятся на системы релейные, импульсные и цифровые. В релейных системах осуществляется квантование по уровню, в импульсных — по времени, а в цифровых—по уровню и по времени. По характеру зависимости между выходными и входными сигналами системы управления разделяются на *линейные системы* и *нелинейные системы*. Все элементы линейных систем описываются в общем случае линейными ур-ниями. В нелинейных системах имеется хотя бы один элемент с нелинейной зависимостью между его выходным и входным сигналами.

Анализ и синтез САУ требуют изучения динамич. св-в этих систем. Для этой цели необходимо математич. описание поведения всех элементов систем в *переходных процессах*. При этом наиболее трудной задачей оказывается описание процессов в управляемых объектах, к-рое выполняется на основе законов, управляющих процессами в конкретных классах объектов. В общем случае процессы в объектах описываются системами обыкновенных дифференц. ур-ний или ур-ний в частных производных в зависимости от того, имеют ли объекты сосредоточенные или распределенные параметры. Элементы автоматич. устройств также описываются системами дифференц. ур-ний, причем импульсные элементы описываются разностными ур-ниями.

Специфичен для У. а. т. последующий переход от линейных ур-ний к передаточным функциям — операторным выражениям дифференц. и разностных ур-ний. Передаточные ф-ции позволяют легко представить математич. модель системы в виде структурной схемы, состоящей из типовых динамич. звеньев. Вместе с тем передаточные ф-ции позволяют ввести понятия *амплитудных фазовых характеристик* и *амплитудных частотных характеристик*. А частотные хар-ки могут быть использованы для опытного определения передаточных ф-ций элементов, вывод точных ур-ний к-рых очень сложен. У. а. т. вводит понятия динамич. хар-к—передаточных ф-ций, частотных и временных хар-к, упрощающих составление матем. моделей системы и последующие анализ и синтез систем.

Динамич. анализ САУ выясняет их работоспособность и точность (см. *Анализ устойчивости систем*). Необходимым условием работоспособности САУ служит их *устойчивость*. Для ее исследования разработаны критерии устойчивости, позволяющие определять условия устойчивости и необходимые ее запасы по косвенным признакам, минуя весьма трудную операцию интегрирования ур-ний движения системы. Устойчивость достигается изменением параметров системы и ее структуры. В нелинейных САУ исследуется возможный для этих систем режим автоколебаний. Если же по самому принципу действия САУ, напр. для релейных систем, эти колебания неизбежны, то устанавливаются допустимые параметры — амплитуда и частота автоколебаний. *Точность* САУ означает точность исполнения цели управления и оценивается показателями, к-рые в совокупности наз. качеством управления. Важнейшие показатели качества САР: статич. и динамич. *погрешности* и *регулирования время*. Эти показатели определяются сравнением действит. переходного процесса изменения управляемых величин с требуемым законом их изменения. Обычно эти показатели указываются для одного из типовых законов изменения управляемой величины, напр. для ступенчатого изменения x_0. В этих случаях динамич. погрешность оценивается перерегулированием. Показатели качества можно определить только прямым интегрированием ур-ний САУ или построением кривых переходных процессов, используя приближенные методы решения ур-ний. Известны трудности этих решений. К тому же эти решения не позволяют установить непосредств. зависимость показателей качества от параметров системы. Поэтому удовлетворение заданных требований к точности системы потребовало бы многократного повторения громоздких вычислений при различных вариантах значений параметров. В У. а. т., так же как и при анализе устойчивости, используются косвенные методы анализа качества, не требующие решения исходных ур-ний. Для этого вводятся критерии качества — косвенные оценки *качества показателей*. Их вычисление проще решения ур-ний, и они связаны функциональной зависимостью с параметрами системы. Такими критериями качества служат: степень устойчивости, интегральные оценки — квадратичные и обобщенные, параметры частотных хар-к — частота среза, пиковые значения действит. и амплитудной частотных хар-к. С показателями качества связано также распределение нулей и полюсов передаточных ф-ций, зависящих от значений параметров системы. При действии на САУ случайных возмущений наиболее распространенным критерием качества динамич. точности служит *ошибка средняя квадратичная*. Эта величина относительно просто может быть связана со статистич. хар-ками возмущающих воздействий и параметрами передаточной ф-ции системы. САУ, в к-рой достигнут экстремум к.-л. показателя качества, именуется *оптимальной системой* управления. Показатель качества может быть представлен в виде функционала от управляющего воздействия и управляемой величины. Экстремум этого функционала обеспечивает оптимальность САУ. Нелинейные системы обладают более широкими возможностями достижения оптимума определ. показателя качества, чем системы линейные. Это обусловило применение нелинейных связей для повышения качества систем управления.

Анализ системы управления позволяет установить св-ва системы с уже заданной структурой. Построение структуры системы управления, выполняющей заданную цель при требуемом качестве управления, составляет содержание проблемы *синтеза* — основной проблемы теории управления. До начала разработки системы управления сообщаются необходимые для этого исходные данные: св-ва управляемого объекта, характер действующих на него возмущений, цель управления и требуемая точность управления. К объекту управления относится его управляющий орган, через к-рый передается воздействие на объект от управляющего устройства. Известные хар-ки управляющего органа сразу же определяют хар-ки исполнит. механизма управляющего устройства. Но на этом обрывается цепь частей системы управления, св-ва к-рых определяются однозначно их взаимным влиянием друг на друга. Так вводится понятие неизменяемой части системы управления — неизменяемой в том смысле, что св-ва ее заданы до начала конструирования *алгоритма* управления и, как правило, не могут быть изменены. Заданная цель управления определяет и способ управления. В результате выясняется в общих чертах блочная схема системы управления, в к-рой структура управляющего устройства еще не раскрыта. Построение алгоритма управления и разработка соответствующей ему функциональной схемы автоматич. устройства, установление значений параметров этого устройства, удовлетворяющих требуемой точности управления, составляют сущность проблемы синтеза.

Можно указать 2 пути решения проблемы синтеза — аналитический метод и метод последовательных приближений. В первом методе критерий качества представляется в виде функционала, к-рый оптимизируется методами вариац. исчисления. В результате находится либо вид передаточной ф-ции автоматич. устройства или алгоритм управления, либо при выбранной структуре указанного устройства находятся значения его параметров, дающие экстремум критерию качества. Этот метод позволяет сразу найти оптимальное решение. Но он часто приводит к сложным и громоздким вычислениям. Во втором методе по заданному критерию качества определяется передаточная ф-ция автоматич. устройства и затем для полученной системы производится сравнение заданных показателей качества с их действит. значениями. Если приближение оказывается допустимым, расчет считается законченным, и можно приступить к конструированию устройства. Если же приближение оказывается недостаточным, то изменяется вид передаточной ф-ции до получения варианта, удовлетворяющего заданным требованиям точности.

При построении сложных систем управления, кроме теоретич. методов, применяется *моделирование* с использованием аналоговых и цифровых вычислит. машин, на к-рых воспроизводятся ур-ния, описывающие всю систему управления в целом, и по результатам расчетов, заканчивающихся при достижении требуемых показателей качества, устанавливается структура УУ. Такой метод синтеза близок по идее к методу последоват. приближений. Моделирование позволяет оценить влияние таких факторов, как нелинейности, ограничения координат. переменность параметров, к-рые ставят почти непреодолимые преграды для аналитич. исследования. Применение вычислит. машин, ставших непременными в У. а. т., освобождает от трудностей расчета. Они также используются в составе САУ для выполнения сложных алгоритмов управления, к-рые особенно характерны для адаптивных и оптимальных систем и систем с прогнозированием конечного результата управления. Решение проблемы синтеза САУ способствовало появлению новых эффективных принципов управления и развитию важных самостоят. направлений в У. а. т.: *оптимальное управление*, статистич. динамика и чувствительность систем управления. Теория оптимального управления позволила установить структуры систем управления, обладающих предельно высокими показателями качества при учете реальных ограничений, накладываемых на переменные. В этом случае показатели качества выражаются в виде функционалов от указанных переменных, в число к-рых входит управляющее воздействие. Структура управляющих устройств оптимальных систем определяется в результате отыскания экстремумов этих функционалов методами вариац. исчисления. Показатели оптимальности могут быть весьма разнообразны. Выбор их зависит от конкретно поставленной задачи. Такими показателями служат показатели динамич. св-в всей системы в целом, критерии экономичности режимов управляемых объектов и др. Большое распространение получили оптимальные по быстродействию системы, к-рые переводят объект из одного состояния в другое за миним. промежуток времени. Статистич. динамика систем управления изучает действие на эти системы случайных возмущений (см. *Случайное воздействие*). Методы этой теории позволяют синтезировать системы управления, обеспечивающие минимум динамич. погрешности, решать задачи построения сглаживающих и прогнозирующих следящих систем, определять динамич. св-ва управляемых объектов по данным опыта при их нормальном функционировании без внесения пробных возмущений. Статистич. методы исследования широко распространились для изучения различных типов систем управления. Большое значение эти методы приобретают для приспосабливающихся систем. Теория чувствительности систем управления изучает зависимость динамич. св-в этих систем от их меняющихся параметров и хар-к. Показатель чувствительности служит мерой зависимости указанных св-в от вариаций параметров. Теория чувствительности позволяет в ряде случаев указать пути осуществления беспоисковых самонастраивающихся систем.

В начальный период своего создания У. а. т. выступала в виде теории регулирования хода конкретного вида машин и фактически была одним из разделов теоретич. и технич. механики (см. *Автоматика*). Идеи классич. теории регулирования распространились на случаи управления паровыми котлами и электрич. машинами, однако в пределах теплотехники и электротехники независимо друг от друга. Быстрое развитие всех отраслей техники и пром-сти вызвало также развитие техники управления, применение к-рой становилось всеобщим. Обнаружилась аналогичность процессов управления в технич. устройствах, и к 1940-м гг. ТАР сформировалась как самостоят. научная технич. дисциплина.

ТАР развивается на основе тесной и взаимной связи с рядом разделов математики; при этом по мере расширения, усложнения и повышения требований к качеству создавались новые методы исследования САУ и САР. Уже при своем создании ТАР стимулировала решение задачи устойчивости. Теория нелинейных САР привлекла методы теории нелинейных колеба-

ний и усилила их развитие. Работа САР при случайных возмущениях вызвала к жизни новое направление в ТАР—статистич. динамику этих систем, привлекая теорию вероятностей и ставя перед ней новые задачи.

С развитием управления в технике шло также изучение проблем управления в живых организмах и в экономич. системах. Вплоть до середины 20 в. исследования процессов управления в этих разнородных объектах не были связаны. Различная природа явлений требовала для их познания труда ученых разных направлений: физиков и техников, биологов и экономистов. В технике управляющие устройства, внешние по отношению к объектам, создаются отдельно и лишь затем соединяются с объектами в единую систему управления. На основе изучения взаимодействия этих устройств с объектами была выявлена общность процессов управления. Именно поэтому ТАР зародилась в технике и превратилась в самостоят. технич. науку. В живых организмах и в экономике органы управления составляют неотъемлемую часть этих объектов. Здесь нет необходимости конструирования отдельно действующих органов управления, а изучение всего механизма управления велось разрозненно в соответствующих областях знаний без участия специалистов по управлению. Однако процессы управления, обладающие определенной спецификой в биологии и экономике, потребовали обязательной коллективной работы специалистов различных областей науки и техники, тем более при совр. уровне развития науки, когда выявилась также и необходимость взаимного обмена знаниями. Н. Винеру принадлежала мысль об общности процессов управления в технике, живых организмах и в экономике и необходимости совместной деятельности ученых различных специальностей (см. *Кибернетика*). Этот вывод подготовлялся длит. время и многими др. исследователями. При этом было обнаружено, что технич. наука — ТАР, способна объяснять процессы управления и влиять на них не только в технике. Это расширило сферу применения ТАР и превратило ее из технич. в общенаучную. Но усложнились цели и методы теории, к-рая при этом получила новое название «теория автоматического управления»; законы ее распространились на все виды управления объектами.

Для ТАР характерна задача стабилизации заданного состояния объекта. Для У. а. т. эта задача входит составной частью в проблему приспособления, или адаптации, к-рая присуща живым организмам и экономич. организациям. Но и для техники эти проблемы весьма актуальны, если учесть переменность параметров объектов, работу их при меняющихся условиях, а также такой фактор, как оценка эффективности работы объектов в чисто экономич. терминах: прибыльность или уменьшение затрат труда и материалов. Так возникла проблема изучения принципов управления с целью переноса их идей из одной области в другую и использования общего аппарата для исследования аналогичных процессов. Еще более усилились связь с математикой и влияние на нее. Так идея оптимального управления не только привлекла методы вариац. исчисления, но и поставила задачу нахождения экстремумов функционалов при ограничениях координат. Эта задача была решена на основе новой идеи — принципа максимума Л. С. Понтрягина. Этот принцип позволил с новой точки зрения обосновать само это исчисление. Вместе с тем У. а. т. тесно связана с физикой и технич. науками, изучающими св-ва объектов, к-рые позволяют создать детальные динамич. модели объектов, необходимые при решении усложнившихся задач автоматич. управления.

Лит.: Максвелл Д. К., Вышнеградский И. А., Стодола А., Теория автоматического регулирования, М., 1949; Айзерман М. А., Лекции по теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1958; Винер Н., Кибернетика и общество, пер. с англ., М., 1958; Воронов А. А., Элементы теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1954; Красовский А. А., Динамика непрерывных самонастраивающихся систем, М., 1963; Лернер А. Я., Введение в теорию автоматического регулирования, М., 1958; Летов А. М., Устойчивость нелинейных регулируемых систем, 2 изд., М., 1962; Лурье А. И., Некоторые нелинейные задачи теории автоматического регулирования, М.—Л., 1951; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 3 изд., М., 1962; Понтрягин Л. С. [и др.], Математическая теория оптимальных процессов, М., 1961; Цыпкин Я. З., Теория линейных импульсных систем, М., 1963; его же, Теория релейных систем автоматического регулирования, М., 1955; Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; его же, Основы теории оптимальных автоматических систем, М., 1963; Процессы регулирования в биологии. [Сб. ст., пер. с нем.], М., 1960; Процессы регулирования в моделях экономических систем. Сб. [переводных] ст., М., 1961; Беллман Р., Процессы регулирования с адаптацией, пер. с англ., М., 1964.

С. И. Бернштейн, А. А. Фельдбаум, Я. З. Цыпкин.

УПРАВЛЕНИЯ УРОВНИ (control levels; niveaux de commande; Füllstandsregelung) — организация управляющих сигналов в вычислит. машинах и др. кибернетич. системах, при к-рой сигналы старшего уровня определяют функционирование сигналов в непосредственно подчиненном уровне, но тип сигналов старшего уровня почти не зависит от типа сигналов подчиненных уровней. Так, по существу одна и та же система команд может реализоваться в машинах с различными схемами. Когда программист пишет трехадресную команду сложения, то ему не приходится думать, выполнится ли операция без оставления результата в сумматоре АУ (как в машине «Стрела») или результат суммирования будет храниться в течение такта в сумматоре (как в ряде др. машин).

Возможность описывать функционирование машины по У. у. делает описание обозримым. Проектирование машины также ведется по У. у. В вычислит. машине, естественно, различаются следующие У. у.: управление синхронизирующими импульсами, микрооперациями, макрооперациями (уровень команд), комплексами операций (уровень *управляющих слов*). Во входных языках (языках обобщенного программирования) также можно выделить различные У. у., хотя такое деление не всегда можно четко провести. Это языки описания задач, языки описания алгоритмов (как *алгол*, *кобол* и т. п.) и языки описания программ (микроязыки). Необходимость использования языков различного уровня возникла из потребности формально описывать задачу, не уточняя алгоритм ее решения, или описывать алгоритм (метод решения), не детализируя способ представления величин в машине. Микроязыки возникли из потребности описывать программу по возможности независимо от конкретных особенностей машины. Эффективность деления сложной системы на У. у. связана с тем, что обычно переход к низшему уровню не требует полного описания системы на этом уровне, а только описания небольшого числа «кирпичиков». Так, если имеется описание логики действия и осн. временных хар-к нескольких логич. элементов, из к-рых строится машина, то этого достаточно для проектирования, напр., логич. схемы сумматора. Для того чтобы построить транслятор с к.-л. языка обобщенного программирования в код данной машины, нужно знать список из неск. десятков команд этой машины и ряд общих параметров машины (объем памяти, разрядность и т. п.). Поэтому четкое выделение У. у. чрезвычайно существенно в задачах *автоматизации программирования* и *автоматизации проектирования ЭВМ* и устройств.

Ю. А. Шрейдер.

УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВО МЕСТНОЕ ЦВМ (local control device; dispositif de commande locale; Einzelsteueranlage) — устройство, предназначенное для выработки управляющих сигналов, необходимых для автономной обработки информации внутри отдельного блока, узла и др., независимо от центр. устройства управления (см. *Управления устройство центральное*). Если неск. блоков и узлов машины имеют местное управление, то координация работы этих У. у. м. в соответствии с заданной программой осуществляется центр. УУ, к-рое выдает на каждое У. у. м. сигналы начала работы, расшифрованный код операции, исходную информацию и сигналы синхронизации. После окончания работы блока У. у. м. посылает в центр. УУ сигнал-ответ о готовности к выполнению новой команды. Принцип организации управления, при к-ром отдельные блоки и устройства машины связаны с центр. УУ по системе приказ-ответ, наз. асинхронным. В этом случае отдельные блоки машины имеют логич. самостоятельность и работают со скоростями, определяемыми внутр. хар-ками этих блоков. Асинхронный принцип управления [машины М-2, М-3, «Киев» и ИБМ-7030 («Стретч»)] позволяет наилучшим образом согласовать во времени работу отдельных блоков и устройств, действующих с разными скоростями. Наличие местного управления в каждом логически самостоят. устройстве машины позволяет совмещать во времени работу неск. устройств, тем самым повышая эффективное быстродействие ЦВМ. В случае одноврем. работы неск. устройств для обмена информацией между ними (напр., при обращении к оперативной памяти) из У. у. м. в центр. УУ поступают запросы на передачу информации, а т. к. одновременно таких запросов может поступить несколько, то должна быть предусмотрена система приоритета передач, при к-рой центр. УУ удовлетворяет в первую очередь запрос от У. у. м. блока с самым высоким приоритетом (напр., магнитных лент) и в последнюю очередь запрос от У. у. м. блока с низким приоритетом (напр., АУ). Это позволяет координировать во времени работу неск. устройств.

В синхронных машинах центр. УУ вырабатывают управляющие и синхронизирующие сигналы, к-рые задают такт работы машины. Любые действия в ЦВМ производятся в момент тактовых сигналов. Центр. УУ рассылает управляющие сигналы в соответствующие блоки машины в зависимости от кода текущей команды. Реализация чисто местного управления связана с существ. аппаратурными затратами, а реализация чисто центр. управления (синхронного) приводит к большим потерям времени. Поэтому наиболее распространены ЦВМ, использующие смешанный принцип управления (машины БЭСМ, «Урал», «Раздан», «Минск» и др.). При этом характерно, что управление выполнением коротких операций, к-рые по времени укладываются в стандартный такт машины, производится центр. УУ, а длинных операций (умножение, деление, извлечение корня, сдвиг, операции связи с внешними устройствами, а в машинах с плавающей запятой, кроме того, операции выравнивания порядков и нормализации) — У. у. м. В последнем случае длительность выполнения операции зависит от кодов операндов.

Функционально У. у. м., напр. АУ, состоит из ряда отдельных схем, каждая из к-рых предназначена для управления данной операцией. При смешанном принципе управления время выполнения одной операции будет складываться из времени такта (цикла) центр. УУ и времени работы У. у. м., если последнее участвует в выполнении операции. Усложнение логики ЦВМ за счет совмещения работы неск. устройств и мультипрограммной обработки данных, стремление упростить и удешевить эксплуатацию и профилактич. обслуживание машины заставляет предпочитать асинхронный принцип организации управления с широкой автономией отдельных устройств ЦВМ.

Г. Б. Смирнов.

УПРАВЛЕНИЯ УСТРОЙСТВО ЦЕНТРАЛЬНОЕ ЦВМ (digital computer system of central control; dispositif de commande centralisée d'une calculatrice numerique; Zentral-Steuerungsanlage einen Rechenanlage) — часть вычислит. машины, предназначенная для регулирования порядка работы всех устройств машины. Выполняет след. ф-ции: схемную синхронизацию работы устройств, блоков и элементов машины; контроль за работой машины и оперативное воздействие человека на вычислит. процесс; выработку совокупности управляющих сигналов, обеспечивающих срабатывание различных блоков и узлов машины в требуемой временной последовательности (формирует такт работы машины).

Различают У. у. ц. с пост. набором программ и перем. программами. Первое характеризуется жестким заданием (с помощью спец. схем) всех возможных сочетаний и временных соотношений управляющих сигналов для каждой решаемой задачи. Класс задач определяется в процессе разработки машины. Изменение алгоритма решения задачи или решение новой задачи требует изменения схем У. у. ц. Применяется гл. обр. в управляющих вычислит. машинах. Наиболее просто реализуется с помощью определ. сочетания линий задержек (*ЛЗ*) и коммутац. элементов (рис. 1). Генератор синхронизирующих импульсов (*ГСИ*) определяет время рабочего цикла машины $T_{рц} = 1/f_{си}$ и задает исходный для каждого такта управляющий сигнал, к-рый, продвигаясь по той или иной ветви линий задержек, поступает через временные интервалы $\Delta t_1, \Delta t_2, \ldots, \Delta t_n$ в различные цепи машины по шинам $1,2,\ldots,n$. Величина задержки сигналов Δt_i в каждом звене определяется

временем срабатывания соответствующих исполнит. элементов, а также их логич. и временной взаимосвязью. При этом $\sum_{i=1}^{n} \Delta t_i \leqslant T_{рц}$.

Срабатывание одного и того же элемента в разные моменты времени достигается с помощью схем «или», объединяющих управляющие сигналы с различных линий задержки (сигналы

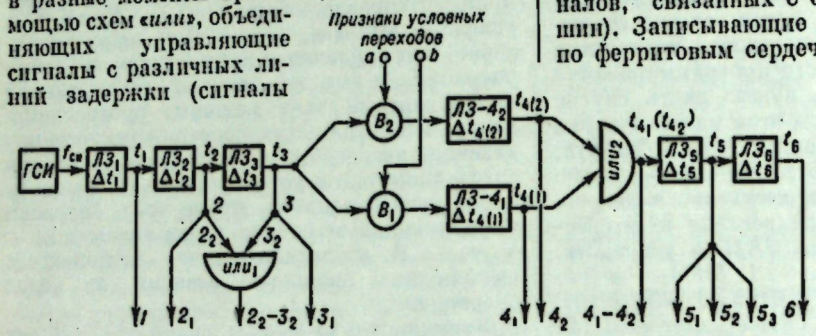


Рис. 1. Блок-схема центрального устройства управления с пост. программой.

2_2 и 3_2). Условные переходы обеспечиваются вентильными группами B_1 и B_2, к-рые пропускают управляющий сигнал по одному из возможных трактов (по $ЛЗ—4_2$ или по $ЛЗ—4_1$). Режим работы вентильных групп задается либо оператором, либо исполнит. элементами в зависимости от результата воздействия предыдущих управляющих сигналов. Совмещение во времени работы нескольких независимых устройств и блоков достигается разветвлением управляющих шин, возбуждаемых одной и той же $ЛЗ$ (шины 2_1 и 2_2, 3_1 и 3_2, 5_1, 5_2, 5_3).

Рассмотренный вариант удобен в случае небольшого количества задач и простых алгоритмов их решения. Эффективность У. у. ц. при этом оказывается довольно высокой, поскольку потери времени на организацию работы управляющих элементов незначительны.

В более сложных случаях, когда имеется значит. количество крупных разветвленных

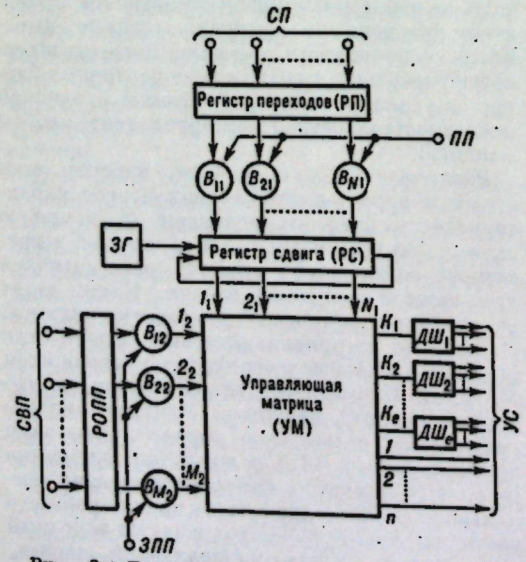


Рис. 2. Блок-схема матричного центрального устройства управления с пост. программой.

программ, применяют матричный вариант У. у. ц. с пост. набором программ (рис. 2). Осн. блок такого устройства — управляющая матрица ($УМ$), наиболее часто состоящая из ферритовых линеек, длина к-рых (количество информац. ферритов) равна числу выходных управляющих шин. Количество линеек определяется макс. длиной прямого цикла (без перехода) рабочей подпрограммы (здесь подпрограмма — совокупность управляющих сигналов, связанных с одной из записывающих шин). Записывающие шины $1_2—M_2$ проходят по ферритовым сердечникам в требуемой для данной программы последовательности. Количество шин, к-рые должны проходить через сердечники, соответствует числу рабочих подпрограмм, используемых в машине. Запись требуемой подпрограммы в матрицу осуществляется с помощью набора вентилей $B_{12} — B_{M_2}$ по сигналу «запись подпрограммы» ($ЗПП$). Регистр очередной подпрограммы ($РОПП$) хранит в каждый момент времени номер подпрограммы, подлежащей записи в $УМ$. Регистр сдвига ($РС$) служит для последоват. считывания с ферритовых линеек управляющих сигналов. Регистр переходов ($РП$) предназначен для запоминания сигналов ($СП$), обеспечивающих вместе с признаком перехода ($ПП$) условные передачи управления к требуемой линейке. Запись сигналов перехода на $РС$ происходит через группу вентилей $B_{11}—B_{N_1}$. Выход управляющей матрицы — в виде сигналов, непосредственно поступающих на исполнит. элементы, и в виде кодовых групп, к-рые трансформируются в управляющие сигналы ($УС$) с помощью дешифраторов ($ДШ$). В ряде случаев принимается лишь одна из этих форм выходных величин. Задающий генератор ($ЗГ$) обеспечивает выработку исходной последовательности синхронизирующих сигналов. Вспомогат. цепи (цепи стробирования, цепи нулевого сброса и т. д.) на рис. не показаны. В исходном состоянии активен первый разряд регистра сдвига.

Цикл работы У. у. ц. (рис. 3) начинается с поступления сигнала выбора подпрограммы ($СВП$), к-рый проходит в регистр очередной подпрограммы по первому синхроимпульсу. Сигналом «запись подпрограммы», неск. сдвинутым относительно первого синхроимпульса, в $УМ$ фиксируется исходная подпрограмма. Затем считывающая единица последовательно продвигается по регистру сдвига с одновременной передачей ее на шины $1—N$ (на диаграмме рис. 3 $N_1 = 8$, $M_2 = 3$), к-рые поочередно выбирают управляющие сигналы со всех ферритовых линеек (1—8). Последний считывающий сигнал возбуждает первый разряд регистра сдвига, подготавливая схему ко 2-му циклу. В процессе выполнения очередного цикла в зависимости от набора управляющих сигналов или в зависимости от результатов срабатывания исполнит. элементов на $РОПП$ фиксируются адреса следующей подпрограммы (в 1-м цикле по 7-му синхроимпульсу записан адрес 3-й подпрограммы). Затем вырабатывается след. рабочий цикл (реализуется след. подпрограмма и т. д.). Если в той или иной подпрограмме предусмотрен условный переход, то сигнал перехода фиксируется на соответствующем разряде регистра перехода и переписывается затем по признаку $ПП$ на регистр сдвига (во 2-м цикле, напр., осуществлен переход с 1-й линейки на пятую). Переход

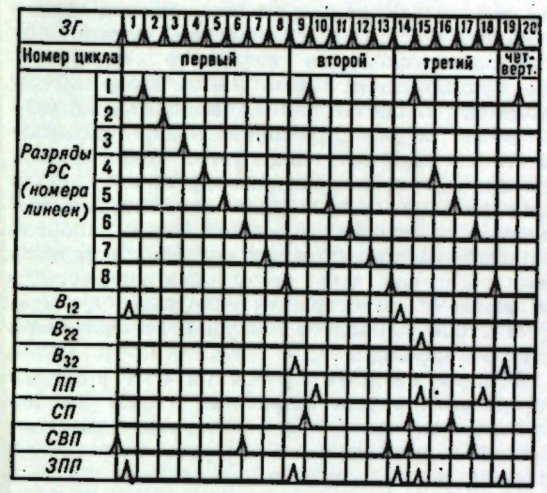


Рис. 3. Временна́я диаграмма работы матричного центрального устройства управления с пост. программой.

может осуществляться либо без смены подпрограммы (2-й цикл — нет сигнала $СВП$), либо с записью новой подпрограммы (запись 2-й подпрограммы при переходе с первой линейки на четвертую в 3-м цикле). В 1-м случае переход происходит только вперед — на линейки, к-рые еще не использовались. Во 2-м случае возможен возврат к пройденным линейкам, поскольку на них записывается новая информация. Матричное У. у. ц. удобно при фиксированном числе рабочих программ. Оно используется в специализир. вычислит. машинах.

У. у. ц. с произвольными программами наиболее универсально. Программа записывается в оперативное ЗУ перед решением задачи. В общем случае У. у. ц. с перем. программой содержат (рис. 4):

1) задающий генератор ($ЗГ$), вырабатывающий последовательность гл. синхроимпульсов, к-рые обеспечивают общее временно́е согласование работы всех узлов машины;

2) формирователь такта ($ФТ$), вырабатывающий совокупность управляющих сигналов («начало такта», «выдача команды», «запись результата» и т. д.), определяющих рабочий такт машины. Является осн. распределителем управляющих сигналов в соответствии с временно́й диаграммой работы машины. Связан с большинством блоков У. у. ц., а в нек-рых случаях — и с рядом др. устройств ЦВМ ($ЗУ$, $АУ$ и т. д.) (см. *Формирователь такта*);

3) регистр команд ($РК$), предназначенный для приема, хранения и выдачи кода команды. Содержит регистр служебных признаков (напр., признаков модификаций), ре-

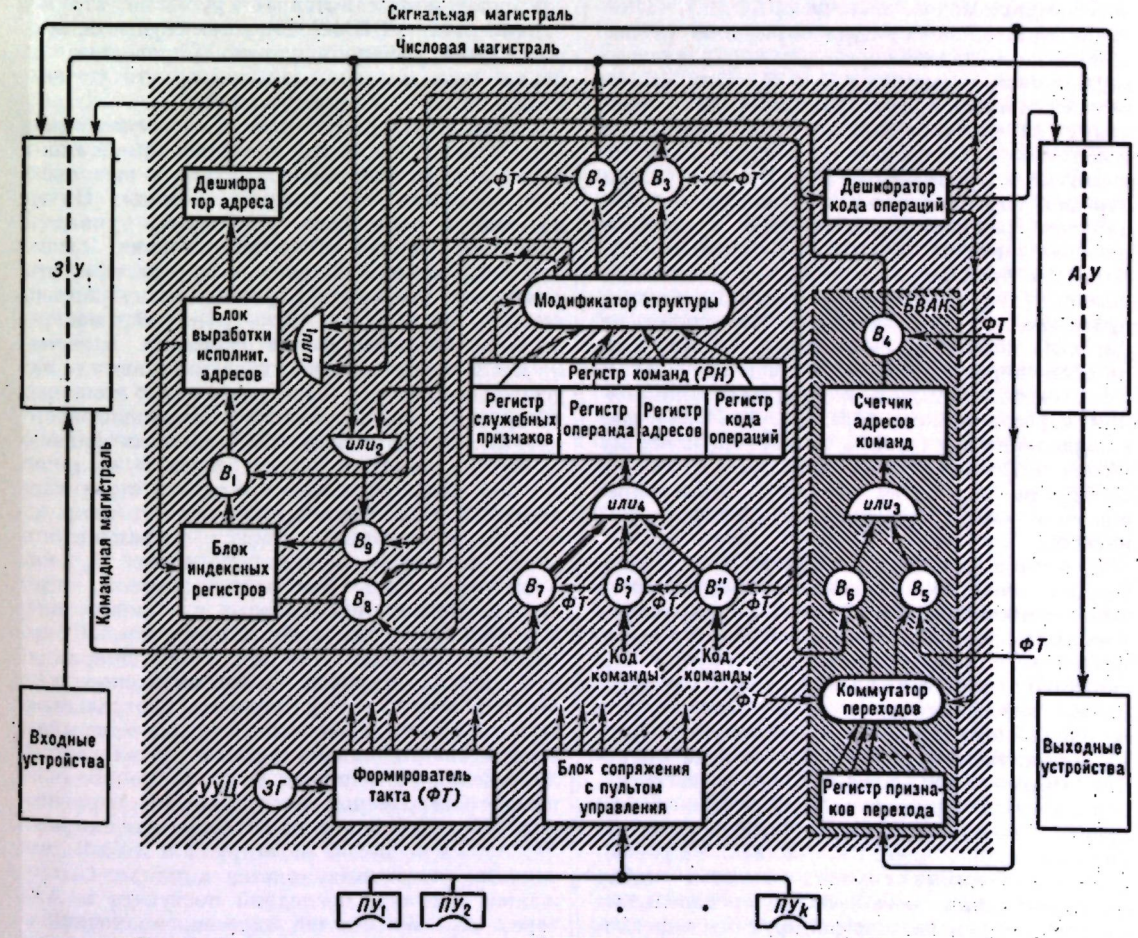


Рис. 4. Блок-схема центрального устройства управления с произвольной программой.

гистр операнда (используется в нек-рых машинах для хранения кода, непосредственно участвующего в операции), регистр адресов и регистр кода операции. В машинах с широкими возможностями модификации структуры команд строго локализовать все эти части не удается. Распределение составных частей по регистру в этом случае зависит от конкретной структуры команды. Для реализации перем. структуры служит модификатор структуры. Он управляется соответствующими разрядами команды и обеспечивает требуемое распределение команды между блоками и узлами У. у. ц. В ряде машин, допускающих параллельное выполнение команд, имеется несколько регистров команд. *РК* связан с дешифратором операций, с блоком выработки исполнительных адресов и нек-рыми другими блоками;

4) б л о к в ы р а б о т к и а д р е с о в к о м а н д (*БВАК*) формирует адрес очередной команды, выбираемой из *ЗУ* машины. Содержит счетчик адресов команд, коммутатор переходов и регистр признаков переходов. Счетчик адресов команд обеспечивает увеличение текущего адреса на пост. величину (чаще всего на 1) или фиксацию нового исходного адреса при условных переходах и в машинах с произвольным порядком следования команд. Регистр признаков перехода хранит признаки, определяющие направление перехода. Признаки вырабатываются исполнит. элементами и отражают, как правило, качеств. сторону результата операции (напр., равенство двух кодов, знак числа и т. д.). Сочетание признаков перехода определяет режим работы коммутатора переходов, управляющего вентильными элементами B_5 и B_6. При выполнении условных и безусловных передач управления на счетчике команд устанавливается требуемый адрес перехода, поступающий на вентильную группу B_6 из *РК*. При отсутствии передач управления адрес команды в стандартном режиме увеличивается в каждом рабочем такте на единицу через вентиль B_5. В ЦВМ с произвольным порядком следования команд (напр., ИБМ-650) в текущем такте адрес каждой новой команды передается из регистра команд на счетчик (отсутствует единичный пересчет). Нек-рые машины (ТХ-2) имеют неск. счетчиков команд для запоминания адресов команд перехода, что облегчает возвращение программы к первоначальному участку. По выходным цепям *БВАК* связан с блоком выработки исполнительных адресов или непосредственно с дешифратором адреса;

5) б л о к и н д е к с н ы х р е г и с т р о в предназначен для хранения модифицирующих кодов, участвующих в процессе формирования исполнит. адреса. Тот или иной регистр выбирается с помощью вентильной группы B_8, связанной с индексными признаками команды. Запись модифицирующего кода часто ведется по спец. команде через вентильную группу B_9, управляемую дешифратором кода операции. Обычно блок состоит из одного регистра, используемого для всех адресов (иногда это просто одноразрядный двоичный регистр на каждый адрес, напр. в машине «Стрела»). В более сложных случаях имеется набор многоразрядных регистров с произвольным распределением по модифицируемым адресам. Блок индексных регистров связан с блоком выработки исполнит. адресов, с регистром команд и числовой магистралью (в тех случаях, когда модифицирующий код содержится в операнде);

6) б л о к в ы р а б о т к и и с п о л н и т. а д р е с о в содержит полноразрядный адресный сумматор (ряд сумматоров), к-рый осуществляет сложение исходного адреса с модифицирующим кодом. В этом блоке производится также вторичная модификация (изменение модифицирующего кода), если для этого не выделен спец. узел. Блок связан по выходу с дешифратором адреса и с блоком индексных регистров (для запоминания измененного модифицирующего кода при организации циклов), по входу — с блоком индексных регистров (через вентильную группу B_1), а также с регистрами исходных адресов (регистром команд, а иногда и со счетчиком адресов команд);

7) д е ш и ф р а т о р к о д а о п е р а ц и и предназначен для выработки серии управляющих сигналов, обеспечивающих выполнение операции, код к-рой поступает из регистра команд;

8) д е ш и ф р а т о р а д р е с а преобразует исполнит. адрес, поступающий из блока выработки исполнит. адресов в систему сигналов, осуществляющих обращение к соответствующей ячейке *ЗУ*;

9) б л о к с о п р я ж е н и я с п у л ь т о м у п р а в л е н и я обеспечивает ручное управление машиной. В ЦВМ с мультипрограммным управлением, имеющих неск. пультов управления с интерпретируемыми структурами (напр., ИБМ-7030), блок осуществляет разделение каналов ручного управления и перем. коммутацию элементов пульта управления по спец. подпрограммам.

У. у. ц. с произвольными программами работает по периодически повторяющимся циклам (рабочим тактам), структура к-рых связана с типом выполняемых команд. Цикл начинается подготовит. сигналами, приводящими все блоки в исходное состояние. Затем из *ЗУ* выбирается команда по адресу, сформированному счетчиком адресов команд. Адрес команды через вентильную группу B_4 поступает на блок выработки исполнит. адресов и после соответствующей модификации — на дешифратор адреса (чаще всего адрес команды поступает непосредственно на дешифратор адреса). Выбранная из *ОЗУ* команда фиксируется на регистре команд через B_7 (в ряде случаев команда может проходить в регистр команд и с др. блоков и устройств, напр. с пульта управления). Адреса операндов по спец. сигналам поступают через B_3 на блок выработки исполнит. адресов, где они модифицируются кодами из блоков индексных регистров, выбираемыми через B_8 по индексу команды. Каждый адрес операнда при многорегистровом блоке индексных регистров может модифицироваться отдельным кодом. Коды на индексные регистры записываются по спец. команде; причем код извлекается либо непосредственно из регистра команд (чаще всего из адресной части), либо из оперативного *ЗУ*. Выбранные из *ЗУ* операнды направляются по числовой магистрали в *АУ*. В тех случаях, когда выполняется команда, содержащая операнд, последний поступает в *АУ* через B_2. Количество адресов, проходящих по тракту: B_3 — блок выработки исполнит. адресов — дешифратор адреса — *ЗУ*, определяется адресностью машины и типом выполняемой команды. При перем. адресности последовательность выборки операндов задается служебными признаками и реализуется модификатором структуры. Результат операции в ряде многоадресных машин записывается в *ЗУ* по адресу результата, находящемуся в коде выполняемой команды. В одноадресных машинах для этого требуется отдельная команда записи.

В большинстве машин предусматривается совмещение по времени ряда действий У. у. ц. Часто совмещаются процессы выполнения операции в АУ и выбор очередной команды, индексация адресов операндов и модификация счетчика команд.

В сложных асинхронных вычислительных системах, содержащих большой набор автономно работающих блоков и устройств, имеются У. у. ц. более высокого порядка, выполняющие ф-цию согласования внешнего взаимодействия всех агрегатов (см. также *Асинхронная вычислительная машина*). Работа каждого агрегата обеспечивается автономными управляющими блоками.

Перспективно мультипрограммное управление, допускающее одновременно решение неск. задач и широкую систему независимой связи машины со многими потребителями. Реализуется двумя способами: а) введением нескольких УУ, каждое из к-рых связывается с одной из программ (напр., машина «Гамма-60»), хранящихся в общем оперативном ЗУ. Работа этих УУ согласуется координирующим устройством (диспетчером). Порядок обслуживания каждого УУ определяется заданным приоритетом каждой программы; б) временным разделением выполнения нескольких программ одним У. у. ц., к-рое переключается с одной программы на другую методом последоват. опроса внешних абонентов (соответствующих регистров) или методом принудит. прерывания внешним абонентом (напр., машина «Ферранти орион»). Порядок прерывания при одноврем. поступлении нескольких сигналов определяется системой приоритетов. В последнем случае потери времени на организацию многоканального обслуживания существенно меньше, чем в предыдущем случае.

Специфичные ф-ции У. у. ц., связанные с мультипрограммным управлением: обеспечение окончания текущей операции при запросе прерывания, защита одной программы от возможного влияния смежной программы, координация одновременно выполняемых условных переходов при многоуровневой обработке команд, сохранение содержимого информационных и управляющих регистров и их восстановление при возврате к прерванной программе, обеспечение очередности переключения одного У. у. ц. на различные информац. каналы или коммутация У. у. ц. при наличии неск. таких устройств. Эти ф-ции обеспечиваются спец. аппаратурой и служебными программами (программами-диспетчерами). Наиболее характерная часть мультипрограммного У. у. ц., облегчающая выполнение этих ф-ций,— система прерывания программ. Один из вариантов этой системы дан на рис. 5.

Кроме обозначенных на рис. блоков, в систему входит ряд вспомогат. элементов (вентилей, собират. схем), обеспечивающих требуемое взаимодействие блоков системы. Каждой возможной причине прерывания ставится в соответствие отдельный разряд индикац. регистра, к-рый заполняется в процессе вычислений по мере возникновения того или

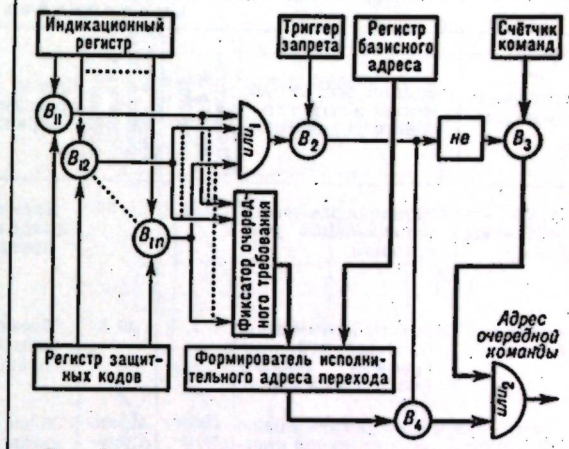


Рис. 5. Блок-схема системы прерывания команд.

иного требования на прерывание. Степень приоритета определяется позицией индикац. разряда в регистре. Каждый возбужд. разряд регистра гасится после выполнения требования на прерывание. Для программного управления прерыванием на регистр защитных кодов оперативно записываются коды, к-рые определяют разрешенные каналы прерывания (сигнал прерывания проходит через вентили B_{11}—B_{1n} только в том случае, если в соответствующем разряде регистра защитных кодов имеется единица). B_{11}—B_{1n} последовательно опрашиваются фиксатором очередного требования на прерывные в порядке уменьшения приоритета. В результате фиксатор вырабатывает относит. адрес перехода, соответствующий активному каналу прерывания. Исполнит. адрес перехода к программе прерывания формируется в виде суммы относительного и базисного адреса, записываемого на регистр базисного адреса. Такой способ позволяет произвольно выбирать требуемую группу прерывающих команд заданием соответствующего базисного адреса. При наличии сигнала прерывания осн. счетчик команд блокируется по цепи *не* — B_3. Запрет прерывания, необходимость в к-ром вызывается иногда самим механизмом прерывания (технич. запрет), обеспечивается перекрытием вентиля B_2 (а следовательно, и B_4) с помощью триггера запрета; осуществляется как схемным, так и программным путем.

Состояние управляющих и индексных регистров на время прерывания запоминается с помощью подпрограммы. Для облегчения процесса запоминания и восстановления содержимого регистров вводится ряд спец. служебных операций. Рассмотренная система прерывания используется в машине «Стретч».

К У. у. ц. с произвольными программами относятся также микропрограммные У. у. ц. (напр., в машине «Напри»), предполагающие интерпретацию каждой команды набором микрокоманд, постоянно хранящихся в ЗУ (как правило, односторонне). Каждому разряду микрокоманды при этом соответствует определ. управляющий сигнал, поступающий

на исполнит. элементы. Для всех операций выбираются оптим. наборы управляющих сигналов и в соответствии с ними строятся рабочие микропрограммы, возбуждаемые в У. у. ц. дешифратором кода операции. Микропрограммное У. у. ц. расширяет возможности операций, позволяя одной командой задавать вычисление довольно сложных зависимостей при миним. потерях времени на вспомогат. действия. Кроме того, становится возможным менять состав кодируемых операций простой перекоммутацией матричных ЗУ микропрограмм. Можно составить библиотеку микропрограмм на съемных кассетах одностороннего ЗУ, выбирая для каждого класса задач наиболее удобный состав кодируемых операций.

Характеристики центральных устройств управления некоторых вычислительных машин

Название машины	Принцип построения центральных устройств управления	Количество адресов в команде	Число одновременно выполняемых программ	Способ многопрограммного управления	Метод прерывания программ	Примечание
ИБМ-7030 («Стретч»; США)	Макропрограммный, с произвольной программой	1 или 2	до 34	Временно́е разделение программ	Программно-управляемая система. Опрос требований от внешних устройств мониторной программой	Обеспечивается программная интерпретация элементов пульта управления
«Атлас» (Англия)	Микропрограммный, с произвольной программой (запись программы в макрокодах)	1	до 8	Временно́е разделение программ	Последоват. опрос	Программа-диспетчер использует систему плавающих адресов
«Гамма-60» (Франция)	Макропрограммный, с произвольной программой	Переменное, до 3	Принципиально неограниченное	Несколько автономных УУ с центр. диспетчером	Принудит. внешнее воздействие. Очередность задается аппаратурно	—
М-20 (СССР)	» »	3	1	—	—	Выбор следующей команды во время выполнения текущей
БЭСМ (СССР)	» »	3	1	—	—	—
«Наири» (СССР)	Микропрограммный, с произвольной программой	2	1	—	—	Обеспечивается возможность непосредств. ввода программы решения в обычном формульном или алфавитно-цифровом виде

От микропрограммных У. у. ц. несколько отличается УУ на базе микроопераций, предполагающие непосредств. задание в командах требуемого набора элементарных действий машины. Каждый разряд команды соответствует тому или иному действию, и программист в процессе подготовки задачи к решению может комбинировать их по своему усмотрению. Т. о., в отличие от микропрограммных У. у. ц., состав операций, определяемый здесь комбинацией управляющих сигналов (управляющих разрядов в коде команды), может выбираться произвольно без каких бы то ни было конструктивных или схемных изменений. Однако программирование усложняется, а объем программы увеличивается, поскольку возможности микрооперац. команд ниже возможностей микропрограмм, задаваемых одной микрокомандой.

У. у. ц. развиваются в направлении макс. сжатия временно́й диаграммы работы, а также в направлении расширения гибкости устройств. Так, У. у. ц. машины AN/UYK-1 позволяет произвольно задавать перед решением задачи структуру команд, набор кодируемых операций, длину слова и т. д., а в машине «Стретч» предусмотрена программная интерпретация элементов пульта управления для обеспечения желаемой связи с человеком.

Лит.: Брукс Ф. П., Программно-управляемая система прерывания программ, в кн.: Кибернетический сборник. Сб. переводов, [№] 2, М., 1961; Евреинов Э. В., О микроструктуре элементарных машин вычислительной системы, в сб.: Вычислительные системы, Новосибирск, 1962 (Сб. тр. ин-та математики АН СССР. Сибирское отд., вып. 4); Китов А. И., Криницкий Н. А., Электронные цифровые машины и программирование, 2 изд., М., 1961; Dreyfuss Ph., System design of the Gamma 60, в кн.: Proc. West. Joint Comput. Conf., 6—8 May, 1958, Los Angeles, [N. Y.], 1959, p. 130—33; Codd E. F. [a. o.], Multiprogramming STRETCH: feasibility considerations, «Commun. ACM», 1959, v. 2, № 11, p. 13—17; Wilkes M. V., Microprogramming, в кн.: Proc. East. Joint Comput. Conf., 3—5 December, 1958, [N. Y.], 1959. *И. А. Данильченко.*

УПРАВЛЯЕМОСТЬ (controllability; réglabilité, possibilité de commande; Steuerbarkeit)—свойство неавтономных систем со свободными параметрами (с входными сигналами управления), характеризующее поведение координат системы или ф-ции от этих координат в зависимости от свободных параметров.

Наибольший интерес представляет У. динамич. систем. Самая простая У.: свойство перехода данного состояния динамич. системы в любое другое в течение конечного интервала времени. В случае линейных динамич. систем, поведение к-рых определяется системой дифференц. ур-ний:

$$\frac{dx_i}{dt}=\sum_{j=1}^{n}P_{ij}(t)\,x_j+\sum_{j=1}^{m}y_{ij}u_j \quad (i=1, 2, \ldots, n)$$

или в матричной записи:

$$\dot{x}=F(t)\,x+G(t)\,u,$$

где $F(t)$, $G(t)$, $n\times n$, $m\times n$ — матрицы. Существует ряд аналитич. критериев, при помощи к-рых возможно определить, управляема система или нет. Так, напр., в случае систем с постоянным коэфф. ранг матрицы $[G,\ FG,\ldots,F^{n-1}\cdot G]$ однозначно определяет У. рассматриваемой системы. Если ранг $[G,\ FG,\ldots,\ F^{n-1}\ G]=n$, то система управляема.

У. системы тесно связана с проблемами существования оптим. управлений и инвариантностью.

Простым примером системы служит система 2-го порядка, описываемая дифференциальным ур-нием:

$$\dot{x}=\begin{bmatrix}f_{11} & 0\\ 0 & f_{22}\end{bmatrix}x+\begin{bmatrix}g_{11}\\ g_{12}\end{bmatrix}u.$$

Если $f_{11}\neq f_{12}$, то система управляема. Если $f_{11}=f_{12}$, то — неуправляема. Необходимо подчеркнуть, что в линейных системах определить их У. сравнительно просто. В прошлом это решалось не на основе строгой математич. теории, интуитивно, по физич. соображениям. Однако в случае неавтономных систем высокого порядка применение такого метода не оправдано. Решение проблемы управляемости часто необходимо при построении оптимальных и самонастраивающихся систем.

Лит.: Калман Р. Е., Об общей теории систем управления, в кн.: Труды I Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, т. 2, М., 1961, с. 521—47.

А. Страшак (A. Straszak).

УПРАВЛЯЕМЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ (controlled rectifier; redresseur commandé; gesteuerter Gleichrichter) — вид *вентильного преобразователя*, предназначенный для выпрямления перем. (однофазного и трехфазного) тока, выходное выпрямленное напряжение к-рого может изменяться в зависимости от величины управляющего параметра.

В У. в. могут применяться и неуправляемые вентили (*газотроны*, *ртутные вентили*, *полупроводниковые вентили*). Тогда управление осуществляется с помощью управляемых сопротивлений, вводимых в каждую фазу цепи на первичной или вторичной стороне тр-ра. Управляемые сопротивления не должны иметь заметных потерь, поэтому в качестве их обычно используют дроссели насыщения (см. *Магнитный усилитель*). Если нет необходимости в быстродействующем автоматич. регулировании, то возможно включение на первичной стороне регулируемого автотр-ра с ручным или электрич. приводом. Включение в каждую фазу первичной стороны тр-ра двух встречно-параллельных управляемых вентилей позволяет получить У. в. высокого напряжения; для этого используют на первичной стороне управляемые вентили с низким допускаемым обратным напряжением, а на вторичной — неуправляемые с высоким. Однако обычно У. в. не отличаются по схеме от неуправляемых выпрямителей, но в них применяются управляемые вентили (*тиратроны дугового разряда*, *тиристоры*, управляемые ртутные вентили, в частности *игнитроны*). Управляемые вентили могут отпираться только при наличии одновременно и положит. напряжения на вентиле (на аноде относительно катода), и отпирающего сигнала на управляющем электроде вентиля.

Сдвиг по фазе отпирающего импульса задерживает на необходимый угол отпирание вентиля по отношению к точке естеств. включения, при к-рой в той же схеме отпирается неуправляемый вентиль, т. е. к моменту, когда напряжение на вентиле становится положительным. На примере трехфазного выпрямителя, работающего с непрерывным выпрямленным током (рис. 1), видно, что ср.

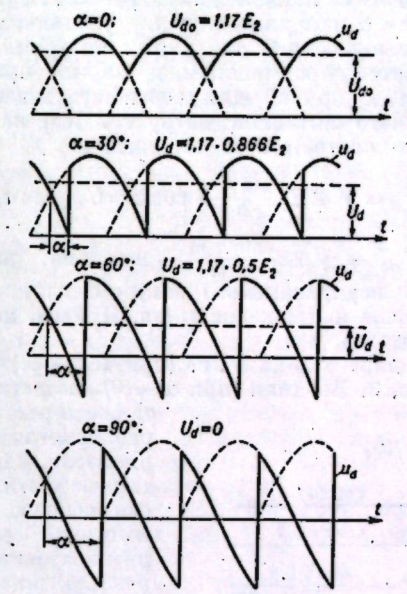


Рис. 1. Теоретич. осциллограммы выпрямл. напряжения трехфазного выпрямителя при разных углах управления.

значение выпрямл. напряжения уменьшается с ростом угла управления α. При этом мгнов. значения выходного напряжения выпрямителя и макс. значение обратного напряжения на вентилях не уменьшаются, а первый скачок обратного напряжения после отключения вентиля и производная тока по времени перед отключением вентиля возрастают. Т. к., кроме того, возрастают напряжения на уравнит. реакторе (см. *Выпрямитель трехфазного тока*) и коммутац. перенапряжения на обмотках тр-ра, то глубокое управление выпрямителем не всегда допускается заводом-изготовителем выпрямителей, а степень регулирования ограничивается ГОСТом.

Зависимость выпрямл. напряжения от угла управления α, т. е. регулировочная хар-ка, определяется не только схемой и параметрами самого выпрямителя, но и характером нагрузки, точнее величиной индуктивности L_d в цепи нагрузки (при емкостной нагрузке У. в. обычно не применяются). На рис. 2 даны регулировочные хар-ки при различных числах фаз выпрямителя m и работе на чисто активное сопротивление или сопротивление и эдс, пока

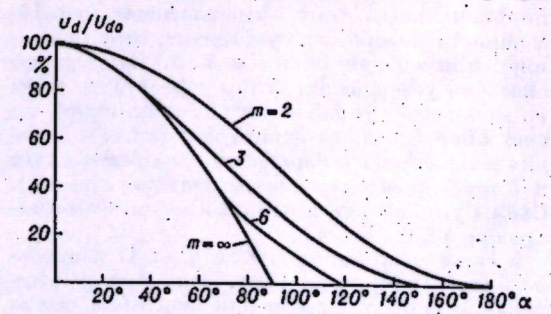


Рис. 2. Регулировочные хар-ки управляемого выпрямителя.

эта эдс меньше выпрямл. напряжения. Кривая для $m = \infty$ пригодна также при $L_d = \infty$ и любом m. При реальных значениях L_d регулировочная хар-ка при малых α практически совпадает с кривой для $L_d = \infty$, а затем с ростом α напряжение на L_d увеличивается, намагничивающий ток растет, выпрямл. ток становится прерывистым и хар-ка приближается к кривой для соответствующего m при чисто активной нагрузке. Хар-ка для $L_d = \infty$ соответствует выражению

$$U_d = \sqrt{2}E_2 \frac{\sin \pi/m}{\pi/m} \cos\alpha = U_{d0} \cos\alpha,$$

где $U_{d0} = \sqrt{2}E_2 \frac{\sin \pi/m}{\pi/m}$ — выпрямл. напряжение неуправляемого выпрямителя, E_2 — вторичное напряжение тр-ра. Привед. хар-ки относятся к хх.

Внешние хар-ки У. в. (при $L_d = \infty$) даны на рис. 3. Верхняя (при $\alpha = 0$) соответствует также хар-ке неуправляемого выпрямителя. Пунктирные части ниже оси абсцисс соответствуют работе преобразователя в режиме *инвертора, ведомого сетью*. При учете того, что $L_d < \infty$, появляются крутопадающие участки внешних хар-к при малых выпрямл. токах и небольшое отклонение вниз остальной части хар-ки, к-рая перестает быть прямолинейной, как это показано штрихпунктирной кривой для одного из значений α.

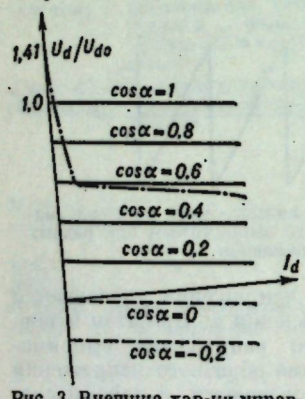


Рис. 3. Внешние хар-ки управляемого выпрямителя.

По мере роста α пульсации в кривой мгновенных значений выпрямл. напряжения все более увеличиваются, в результате чего увеличивается содержание высших гармонических (см. *Высшие гармонические в вентильных преобразователях*) в выпрямл. напряжении.

Содержание гармонических в первичном токе почти не зависит от угла управления, а угол сдвига фаз первой гармоники первичного тока равен в обычных схемах выпрямления углу управления. Соответственно снижение выпрямл. напряжения связано с пропорциональным ему уменьшением коэфф. мощности выпрямит. установки, что осложняет применение мощных У. в. Существуют способы уменьшения этого эффекта и даже возможность управления выпрямителем за счет опережающего сдвига фаз (см. *Реактивная мощность в вентильных преобразователях* и *Коэффициент мощности ионного привода*). Схемы управления вентилями — см. *Фазосдвигающие устройства*.

У. в. в оси. применяются для: 1) вентильного электропривода пост. тока при регулировании скорости вращения двигателя, к-рая при питании от У. в. якоря двигателя примерно пропорциональна выпрямл. напряжению, а также для реверса двигателя; 2) вентильного возбуждения электрич. машин перем. и пост. тока; 3) питания электролизных ванн с целью поддержания неизменного тока при изменяющемся напряжении на серии электролизеров (управление ведется в небольших пределах, чтобы не уменьшать коэфф. мощности; для управления в более широких пределах применяется регулировочный автотр-р); 4) зарядки аккумуляторов с целью стабилизации тока в начале зарядки и стабилизации напряжения в конце зарядки; 5) питания тяговых сетей с целью распределения тока между выпрямителями; 6) линий передачи пост. током высокого напряжения с целью установления режима работы передачи; 7) питания инверторов в *вентильных преобразователях частоты* с целью предупреждения возникновения паразитных автоколебаний и т. п.

У. в., как и инвертор, ведомый сетью, при воздействии на входе гармонич. сигнала с частотой, меньшей, чем частота питающей сети, является абсолютно безынерц. устройством. При больших частотах сигнала У. в. вносит нелинейное запаздывание [1].

Лит.: 1) Шипилло В. П., Сирица В. В., Булатов О. Г., Электромагнитные процессы в быстродействующем реверсивном ионном преобразователе, М.—Л., 1963. См. также лит. при ст. *Выпрямители*.

И. В. Антик.

УПРАВЛЯЮЩАЯ МАШИНА (control computor; machine de commande: Steueraggregat) — вычислит. устройство (вычислит. машина), служащее для автоматич. управления сложным объектом или совокупностью взаимосвязанных объектов. Автоматич. управление всегда связано с вычислениями. В простейших типах регуляторов вычислит. ф-ции очень просты и не отделяются от др. ф-ций. Однако с усложнением задач управления выявилась целесообразность отделения ф-ций вычисления от др. ф-ций — напр., от усиления мощности, от преобразования сигналов в форму, удобную для воздействия на объект. Появились У. м. как непрерывного, так и дискретного действия. Они находят применение для автоматич. управления производств. процессами в химич. и нефтеперерабатывающей пром-сти (дистилляц. колонны, крекинг-установки, химич. реакторы), в металлургии (доменный процесс, электродуговые сталеплавильные печи, блюминг, непрерывные прокатные станы), в энергетике и в др. отраслях пром-сти, а также на транспорте и в военном деле.

Цель применения У. м.— обеспечение нормального или, что встречается чаще, максимально-эффективного режима работы управляемого объекта (достижение наивысшей производительности, наивысшего качества или однородности продукции, наименьших затрат сырья или электроэнергии и т. д.).

По типу представлений сигналов У. м. разделяются на машины: а) дискретного действия. К их числу относятся *управляющие цифровые машины*, в к-рых выполняются операции с величинами, заданными в виде чисел. Сюда же относятся логич. У. м., выполняющие логич. операции (см. *Логическая машина*); б) непрерывного действия, в к-рых выполняются операции с непрерывно меняющимися величинами, заданными, напр., углами поворота, электрич. напряжениями и т. д. Эти машины отличаются меньшей точностью, но большей быстротой работы и меньшей стоимостью, чем У. м. дискретного действия (см. *Аналоговая вычислительная машина*).

Существуют также У. м. гибридного типа, в к-рых имеются как дискретная, так и непрерывная части (см. *Комбинированная вычислительная машина*).

По характеру применения У. м. можно разделить на: а) командные, к-рые на основании заложенной в них оператором первичной информации вырабатывают управляющие воздействия, передаваемые на исполнит. блоки объекта; б) компенсирующие, к-рые получают информацию о мешающих внешних воздействиях, поступающих на объект, и вырабатывают управляющие воздействия, которые нейтрализуют влияние мешающих воздействий; в) У. м. для автоматич. управления объектами в замкнутой цепи. Такие машины получают информацию о состоянии объекта и посылают управляющие воздействия на исполнит. блоки объекта. Это — наиболее сложный и имеющий наибольшие перспективы вид У. м.

К У. м. примыкают также вычислит. машины (устройства) для обработки информации. Они получают информацию о состоянии объекта и поступающих на него внешних воздействиях, перерабатывают ее и выдают человеку-оператору в форме, облегчающей управление, напр. в форме советов о наилучшем управлении.

Разрабатываются вопросы применения У. м. для управления целыми цехами или даже предприятиями. Создаются У. м., в состав к-рых входят модели объектов, иногда самонастраивающиеся (см. *Самонастраивающаяся модель*), т. е. автоматически изменяемые с тем, чтобы их хар-ки мало отличались от изменяющихся хар-к самих объектов. На таких моделях путем *поиска автоматического* находятся оптим. режимы (см. *Оптимальное управление*).

Лит.: Граббе Е. М., Применение цифровых вычислительных устройств в системах управления. Аннотированная библиография, в кн.: Труды I Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т. 3], М., 1961; Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959.

А. А. Фельдбаум.

УПРАВЛЯЮЩАЯ ЦИФРОВАЯ МАШИНА (digital control computer; machine numérique de commande; steuernde Digitalrechner) — вычислит. машина для обработки цифровой информации в системах управления технич. процессами.

Оси. назначение У. ц. м. в пром-сти — автоматизация процессов управления объектами с непрерывным и непрерывно-дискретным характером произ-ва (в первую очередь на химических, нефтеперерабатывающих, цементных, металлургических, бумагоделательных предприятиях). Помимо этого, У. ц. м. используются для автоматизации различных энергетич. объектов (включая атомные станции), для автоматизации исследований, проводимых с помощью сложных эксперимент. установок, и др.

У.ц.м.— новое, быстро развивающееся средство автоматики, созданное на базе достижений вычислит. техники и отличающееся, с одной стороны, универсальностью (в смысле возможностей переработки информации), а с другой — исключит. возможностями специализации применительно к объекту управления.

Требования к У. ц. м. определяются не только спецификой технологич. процесса, но и особенностями системы, в к-рой она используется. Существуют различные типы систем управления, в к-рых используются У.ц.м.

1) В единой одномашинной системе контроля, регулирования (и оптимизации) процессов в отдельных установках и цехах У. ц. м. выполняет ф-цию прямого регулирования (и оптимизации). Обычные регуляторы в данной системе не нужны, поскольку их заменяет машина. Одно из осн. требований к У. ц. м. в такой системе — очень высокая степень надежности. Полезное время работы машины должно достигать 99,94%, т. е. время простоев машины за год не должно превышать 5 ч. С др. стороны, требования к вычислит. возможностям машины могут быть сокращены за счет уменьшения объема задачи.

2) В раздельной одномашинной системе оптимизации технологич. процессов в отдельных установках и цехах оперативного управления предприятием ср. масштаба У. ц. м., осуществляя ф-цию оптим. управления, подсчитывает задания для регуляторов и реализует их через оператора (система «советчик») или автоматически. Одновременно машина выполняет несложные ф-ции оперативного управления. Требования к надежности У. ц. м. в данном случае значительно уменьшаются, т. к. регуляторы не исключаются из системы управления и машина осуществляет корректировку заданий регуляторам. Медленный характер большинства процессов позволяет корректировку вести периодически. В таких условиях остается достаточно времени для профилактики или даже быстрого ремонта машины. Выдачу ошибочных заданий можно предупредить рядом простых технич. средств.

3) В многомашинной системе управления крупным предприятием ф-ции вычислит. машин различны. Обычно одна из машин является центральной и предназначается, в первую очередь, для оперативного управления предприятием в целом. Она устанавливается на гл. диспетчерском пункте и координирует работу У. ц. м., располагаемых в цехах и на отдельных установках для контроля и управления технологич. процессами. Требования к надежности У. ц. м. в данном случае определяются, как показано выше, характером локальной одномашинной системы.

У. ц. м. можно разделить на две оси. группы: машины общего (широкого) назначения, предназначенные для реализации широкого класса алгоритмов управления, и специализированные, т. е. приспособленные к решению спец. алгоритма.

Отличительная особенность У. ц. м. общего назначения — возможность широкого изменения состава ее оси. устройств и, следовательно, ее параметров и структуры. Программное управление позволяет приспосабливать ЦВМ для управления различными объектами без к.-л. существ. конструктивных изменений путем простой смены программ, записываемых в устройстве памяти.

У. ц. м. общего назначения, как правило, состоит из двух осн. частей — вычислительной и устройства связи с объектом, к-рые строятся по агрегатно-блочному принципу. Для вычислит. части это означает наличие нескольких автономных блоков памяти (как оперативной, так и односторонней и внешней), возможность изменения разрядности АУ, количества выполняемых операций, возможность подключения большого количества различных внешних устройств и др. В устройстве связи предусматриваются изменения количества и

характера входных и выходных каналов связи с объектом и устройств обмена информацией с оператором.

Вычислит. часть У. ц. м. общего назначения конструируется на принципах универсальных ЦВМ с учетом требований, специфичных для систем управления: высокая надежность работы, простота программирования, наличие системы прерывания программ, средств быстрого обнаружения неисправностей и др.

Устройство связи с объектом строится на стандартных элементах, принятых для вычислит. части машины. Оно включает также ряд нестандартных узлов (коммутаторы, преобразователи аналоговых сигналов в коды и обратно, электронные часы, пульт оператора и др.) и может содержать буферную память и узлы элементарной обработки информации. Устройство связи с объектом рассчитывается на сопряжение со средствами автоматики, устанавливаемыми на объектах, и должно обеспечивать управление ими в соответствии с командами от вычислит. части.

Создан и эксплуатируется целый ряд одномашинных систем контроля и управления различных типов. Большинство их относится к области энергетики, остальная часть машин эксплуатируется в системах управления цементными з-дами, отдельными цехами химич. и металлургич. з-дов. Более сложные системы управления предприятиями в целом пока немногочисленны и находятся в стадии пром. эксперимента.

Примером У. ц. м. общего назначения является «Днепр» [1]. Кроме нее, в СССР создан ряд других цифровых управляющих машин общего назначения — УМ1НХ, УМ1, ВНИИЭМ1 и др.

Специализированные У. ц. м. находят пока ограниченное применение.

Структурная схема автоматич. системы управления непрерывным процессом показана на рис. 1.

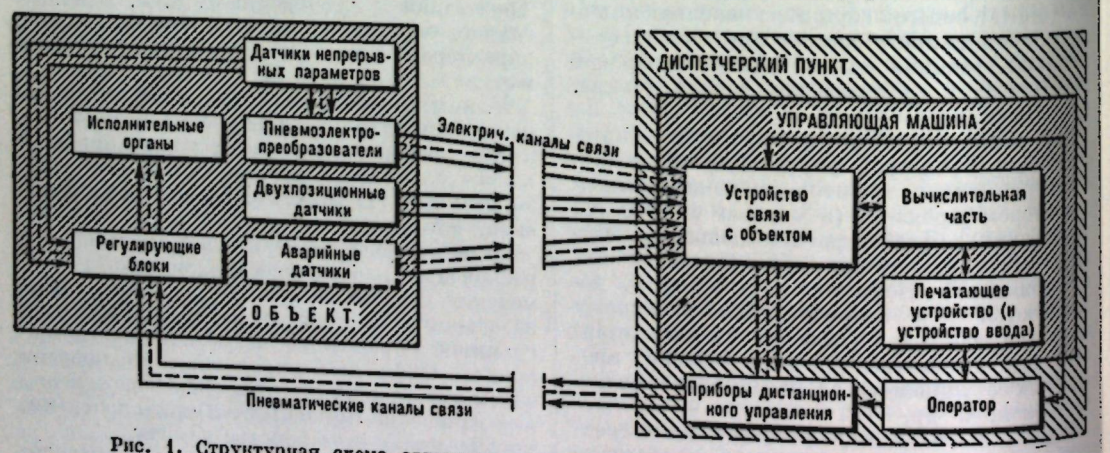


Рис. 1. Структурная схема автоматич. системы управления непрерывным процессом.

Стремление к широкому внедрению вычислит. техники для автоматизации различных, часто весьма сложных и малоизуч. объектов вызвало повышение требований к осн. параметрам машины (быстродействие, объемы памяти, точность вычислений) и возможностям их модификации. Этому же способствует намечающийся переход к многомашинным системам автоматизации сложных произ-в. Управляющие системы для автоматизации пром-сти конструируются с учетом совмещения ф-ций управления и ф-ций вычисления для оперативного управления предприятиями. Это достигается путем макс. развития принципа агрегатно-блочного построения машин, обеспечивающего создание как простых (для управления процессом), так и сложных (для оперативного управления) модификаций.

Вторая важная тенденция в развитии У. ц. м. — специализация их по осн. классам произ-в. Это направление базируется на специфике требований, вытекающих из анализа общего алгоритма управления тем или иным классом произ-в, достаточно общих с точки зрения требований к машине (напр., классом непрерывных процессов).

Наличие общих алгоритмов управления позволит создать наиболее простой внешний язык У. ц. м. и соответствующие системы автокодирования приказов внешнего языка, что существенно упростит и ускорит решение задач алгоритмизации объектов и отработки алгоритмов управления.

У. ц. м. позволяют осуществить качеств. скачок в управлении процессами. Он заключается в создании наиболее эффективных в экономич. отношении систем управления, основанных на наиболее точных данных о ходе технологич. процесса и математически обоснованном выборе оптим. варианта управления.

Примеры применения У. ц. м.

1) **Автоматизация металлургических объектов.** Системы автоматизации крупных металлургич. з-дов строятся, как правило, двухступенчатыми и включают, помимо центральной, управляющие машины низшей ступени. Объекты управления низшей ступени — отдельные цеха, крупные установки, производств. участки со специфичным характером технологич. процесса и т. п. Высшая ступень управления обеспечивает оперативное управление предприятием и объектами низшей ступени, исходя из показателей работы предприятия в целом.

Технологич. процессы металлургии, реализуемые объектами низшей ступени, разбиваются на отдельные технологически закончен. циклы, что накладывает определ. особенности на алгоритмы управления ими. В частности, большое значение при выборе критериев оценки частного процесса, помимо обычных факторов, приобретает время цикла (напр., время одной плавки и т. п.). Алгоритм управления циклич. процессом состоит поэтому из 2 осн. частей: алгоритма управления собственно процессом, включающего алгоритм прогноза времени технологич. цикла, и алгоритма рационального обеспечения заданного первым алгоритмом технологич. режима и выдает задания для его реализации оператору или непосредственно на сервоприводы, регуляторы и устройства местного программного управления.

Пример системы автоматизации 1-й ступени — система автоматизации конверторного цеха (рис. 2). Производительность цеха и качество выпускаемой продукции, в первую очередь, зависят от правильного расчета загружаемой в конвертор шихты и точной остановки плавки на заданном содержании углерода в металле. Ввиду того, что анализ хим. состава металла в ванне конвертора и измерение темпры металла по ходу плавки пока практически неосуществимы, то момент остановки продувки конвертора может быть определен по начальным данным плавки (вес и хим. состав шихты, начальная темп-ра металла), а также на основании косвенной информации, получаемой в ходе плавки (интенсивность излучения пламени, хим. состав отходящих газов). Расчеты, к-рые необходимы при этом, могут быть произведены только с помощью быстродействующей У. ц. м. Для уточнения расчетов по текущей плавке и устранения влияния неконтролируемых параметров (тепловые уточки, разгар фурм и др.) целесообразно использовать

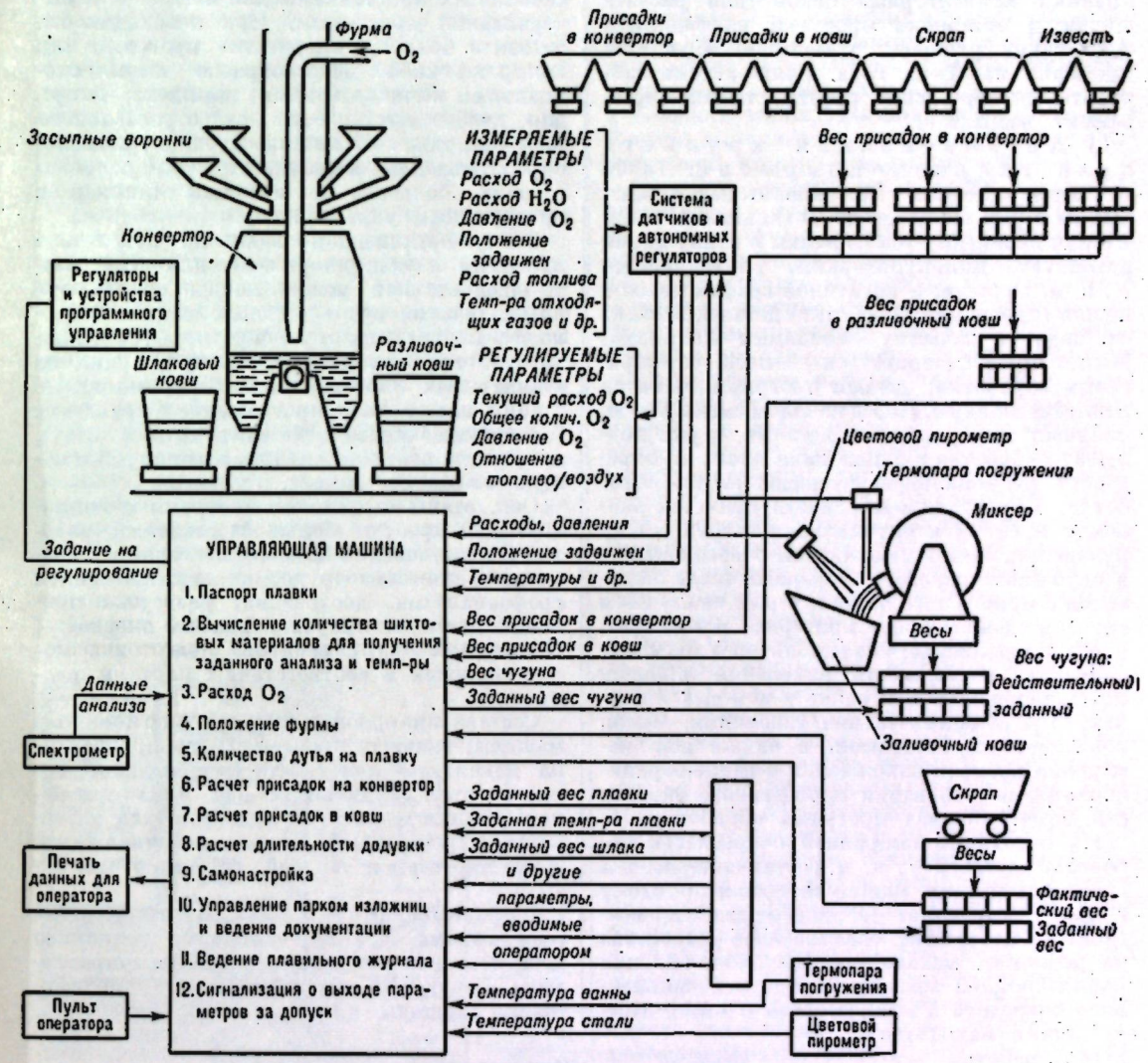


Рис. 2. Схема автоматизации конверторного цеха.

жима (своевременная подача шихты, металлоразливочных ковшей и т. п.). Наличие прогнозирующих алгоритмов обеспечивает последующую разработку алгоритмов диспетчерского характера.

Система управления отдельным объектом, помимо У. ц. м. и самого объекта, включает датчики информации о процессе, регуляторы и реле, сервоприводы, местные устройства программного управления и др. Наличие этого оборудования, типичного для прежних систем управления, позволяет управлять процессом и без управляющей машины; однако при этом, как правило, не обеспечивается оптимальное (с технико-экономич. точки зрения) протекание процесса. У. ц. м. выполняют роль центр. контролирующего и оптимизирующего звена. На основании данных контроля, а также информации, поступающей от высшей ступени управления, У. ц. м.

дополнит. информацию о конечных параметрах (хим. состав и темп-ра металла при сливе) неск. предыдущих плавок. Наличие таких данных позволяет вводить элементы самонастройки в алгоритм контроля за ходом плавки, что улучшает его прогнозирующие св-ва.

Система автоматизации с помощью У. ц. м. крупных конверторных цехов (для расчета шихты и остановки продувки на заданном содержании углерода в металле) окупается примерно за 1—2 года. Если автоматизировать диспетчерские работы, то экономич. эффект возрастает.

2) Автоматизация крупного цеха гальванопокрытий. Такой цех имеет не менее 8 гальваноавтоматов, каждый из к-рых включает до 40 гальванич. ванн. Детали перемещаются из ванны в ванну двумя автоматич. манипуляторами, управляемыми У. ц. м. Порядок и временной график перемещения (программа обработки) деталей зависят от вида и качества наносимых покрытий. Может предусматриваться до неск. сот программ обработки; каталог программ хранится в памяти машины. Перед началом смены У.ц.м. получает информацию о деталях, к-рые подлежат обработке в ближайшие часы, и определяет рациональную очередность их обработки. Критерием очередности является экономия времени и оптимальная загрузка оборудования. Метод нахождения очередности — в случайном переборе большого числа вариантов и выборе того из них, к-рый наилучшим образом удовлетворяет критерию. Кроме того, при анализе каждого из вариантов У. ц. м. использует возможность изменения времени нахождения детали в ванне в нек-рых пределах, определяемых технич. условиями. Число перебираемых вариантов, а также шаг изменения времени нахождения в ванне ограничивается на основании проведенного заранее статистич. анализа программ обработки.

На основании выбранной очередности обработки деталей У. ц. м. составляет рабочий график автоматич. манипуляторов и по этому графику управляет их перемещением, воздействуя через спец. связывающее устройство на исполнит. механизмы. После накопления новых деталей машина определяет дальнейшую очередность манипуляций с ними. Когда детали находятся в осн. рабочих ваннах гальваноавтоматов, необходимо строго соблюдать режим покрытий по плотности тока через поверхность детали. Этот режим также устанавливается У. ц. м. на основании вольтамперных хар-к ванн, записанных в пассивном ЗУ машины.

Модификация машины «Днепр», достаточная для решения перечисл. задач, включает полный состав блоков памяти машины, 100 каналов для снятия данных с датчиков аналогового типа, 100 каналов для ввода данных с дискретных датчиков. Время, необходимое для выбора очередности деталей,— ок. 1 мин. на один гальваноавтомат.

Автоматич. управление цехом по сравнению с ручным (опытный оператор) дает ср. экономию времени 25—30%.

3) Подготовка программ для газорезательных и металлорежущих станков. Для этой цели можно использовать обычные универсальные ЦВМ, снабдив их приставками для записи или вычерчивания программы. При необходимости готовить большое количество программ или копир-чертежей целесообразно иметь специальный вычислительный комплекс, напр., для целого куста з-дов судостроительного профиля, тяжелого машиностроения, металлообрабатывающих и др. предприятий, располагающих большим количеством станков с программным управлением.

Схему организации работ по подготовке программ и копир-чертежей для газорезательных станков можно понять на примере автоматизации судокорпусных работ. Технологич. процесс изготовления корпуса судна требует вырезки деталей корпуса судна из стандартных листов стали. Газорезательные станки имеют либо программное управление (программа записывается на магнитную ленту), либо следящую систему управления, работающую от копир-чертежа.

Осн. этапы подготовки программ и копир-чертежей требуют большой вычислит. работы. До применения ЦВМ осуществлялись громоздкие и весьма трудоемкие графические и графоаналитич. построения: развертка проекций деталей корпуса судна на плоскость; составление карт раскроя; подготовка копир-чертежей в соответствии с картами раскроя.

Составление одной карты раскроя с помощью машины, включая процесс записи программы на магнитную ленту, или вычерчивание копир-чертежа занимают 30—40 мин. (при использовании деталей, не нуждающихся в развертке). Ручными методами аналогичная карта и копир-чертеж по ней готовятся за 7—10 ч.

Вычислительный комплекс, обеспечивающий программами и копир-чертежами несколько десятков станков с программным управлением, включает вычислительную модификацию машины «Днепр», 2—3 параболич. интерполятора (каждый с блоком записи программы на магнитную ленту и графич. устройством для вычерчивания копир-чертежей). Распределение ф-ций между вычислительной машиной и интерполятором показано на рис. 3.

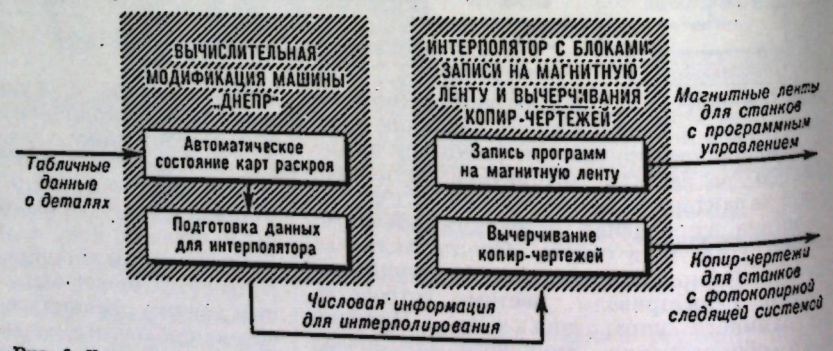


Рис. 3. Блок-схема вычислит. комплекса для подготовки программ для газорезательных и металлорежущих станков.

Алгоритмы подготовки программы составляются путем перехода к чисто аналитич. описанию имеющихся в практике судостроения графич. и графоаналитич. методов подготовки данных. Исключение представляет алгоритм автоматич. составления карт раскроя.

4) Автоматизация процессов контроля сложных радиотехнических и других изделий. Автоматич. системы контроля исправности весьма сложных радиотехнических, электромеханических и др. изделий позволяют сократить во много раз сроки проверки изделий, а также упрощают обслуживание этого сложного процесса.

Автоматизированный контроль, помимо указания места неисправности и замера величины параметров контролируемых сигналов, позволяет прогнозировать места неисправности. Прогнозирование отказов в работе аппаратуры затрудняется из-за необходимости учета статистич. хар-к ухода параметров сигналов во времени в зависимости от целого ряда условий.

Др. вид автоматизированного контроля — диагностический, более прост. Его можно выполнить, задавшись только пределами допустимого отклонения параметра, т. е. по данным замера параметров осн. сигналов контролируемого объекта судить о степени исправности объекта и его соответствии технич. условиям.

На рис. 4 дана блок-схема системы диагностич. контроля. С ее помощью возможно контролировать сложное радиоэлектронное оборудование, где количество контролируемых параметров достигает неск. тыс.

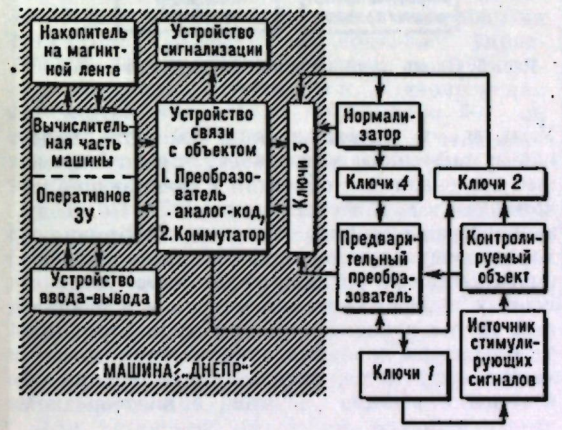


Рис. 4. Блок-схема системы диагностич. контроля радиотехнич. и др. изделий с использованием управляющей машины.

Устройство связи с объектом по командам программы подключает цепи объекта, подлежащие контролю, а также преобразует сигналы объектов в дискретный код для дальнейшей обработки его на машине.

Устройство сигнализации осуществляет индикацию N-го канала неисправности и величины отклонения замеряемого параметра от его номинала в единицах допуска. Ключи *1* используются для подачи команд на включение генераторов соответствующих сигналов источника стимулирующих импульсов, ключи *2*, *3*, *4* — для реализации программного опроса и коммутации контролируемых сигналов объекта на вход преобразователя устройства связи с объектом. Нормализатор понижает величину амплитуды сигнала до величины, приемлемой для преобразователя аналог-код. Предварительный преобразователь преобразует сигналы перем. тока в сигналы пост. тока. Обычно входы преобразователей аналог-код рассчитаны на определ. диапазон величины сигнала. Так, в машину «Днепр» можно подавать сигналы с уровнями напряжений пост. тока от 0 до $\pm$ 25 *в*. Сигналы перем. тока предварительно преобразовывают в пост. ток, а большие амплитуды понижают до $\pm$ 25 *в* (первое выполняется на предварит. преобразователях, второе — на нормализаторах).

Контроль ведется по жесткой программе очередности проверки узлов объекта как во время работы объекта, так и в период профилактич. проверки или настройки. Часто контролируемые объекты, проверяемые в нерабочем режиме, требуют подачи на их входы стимулирующих сигналов для выработки на выходе сигналов, характеризующих реакцию объекта и позволяющих определить его хар-ки. Эти сигналы могут иметь различную природу в зависимости от типа контролируемых систем. Они могут быть введены в виде напряжения, тока, давления, темп-ры, угловых перемещений, ускорений, скоростей, тепловых потоков, состава газа и пр. Вырабатываются эти сигналы в источнике стимулирующих сигналов по командам машины. Запуск всей системы контроля выполняется по программе.

После подачи стимулирующих сигналов на объект начинается контроль параметров объекта. Параметры контролируются в определ. последовательности и через управляемые от машины ключи поступают после предварительной их нормализации и преобразования на вход преобразователя машины. Данные замера обрабатываются по программе, после чего выявляются их соответствия допустимым пределам отклонения. Величины допуска на каждый контролируемый параметр хранятся в ЗУ машины. Результаты обработки выводятся на печатающее устройство и устройство сигнализации. Если величина параметра — в пределах допуска, то переходят к замеру следующего параметра; в противном случае вся система контроля переводится на работу в режиме регулировки или происходит останов по программе, а обслуживающему персоналу выдаются указания по замене неисправного звена контролируемого объекта.

Программа выполнения контроля объекта строится из расчета разбиения контролируемого объекта на ряд осн. узлов. Данные обрабатываются по отдельной, общей для всех узлов, стандартной программе. Объект контролируется последовательно, от узла к узлу, от сигнала к сигналу. Вся программа контроля записана на магнитной ленте и вводится по частям в оперативное ЗУ машины по ходу контроля. Там же записаны все исходные константы и стандартные подпрограммы.

Упрощенная блок-схема программы контроля объекта дана на рис. 5. Первым, как правило, контролируется узел питания. Если все осн. параметры этого узла находятся в допуске или в пределах разброса, то проверяется следующий узел. В противном случае прекращают режим контроля и устраняют неисправность путем регулировки или полной

замены неисправного элемента. При этом, в процессе регулировки, по программе ведется непрерывный замер регулируемого параметра с последующей выдачей результата обработки

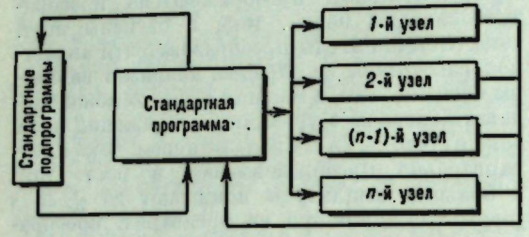


Рис. 5. Блок-схема программы контроля объекта.

замера параметров на устройство сигнализации. Оператор дает указания на прекращение регулировки сразу же, как только параметр будет введен в допуск. Так контролируются осн. и вспомогат. параметры сигналов объекта и проверяются все узлы объектов.

При выходе на останов по программе оператор с помощью устройства сигнализации может судить о месте неисправности параметра (по его номеру) и о его величине, а по инструкции определить способ устранения неисправности. Можно снять сразу всю хар-ку параметров объекта, заблокировав останов по программе и выдав всю информацию о параметрах на печатающее устройство. Однако при этом нужно учитывать, что неудовлетворит. показание величины замера параметра сигнала может быть обусловлено не столько неправильной работой его собственных элементов, сколько неисправностью работы предыдущего узла.

Диагностич. контроль сложного радиоэлектронного оборудования выполняется с большой скоростью и не требует высококвалифицированного обслуживающего персонала. Время контроля объекта сокращается в 5—7 раз по сравнению с ручным контролем.

5) Автоматизация аэродинамического эксперимента. Обработка результатов аэродинамич. экспериментов сопряжена с большим количеством трудоемких вычислений и подготовкой сложного графич. материала. Кроме того, необходима высокая точность измерения, т. к. величины сил и моментов, действующих на летящее тело в зависимости от режима полета, меняются в очень широких пределах.

Аэродинамич. коэфф., подсчитываемые по данным испытаний, обычно представляются в виде кривых, построенных в ф-ции угла установки модели. Имея указанные кривые, можно выполнить аэродинамич. расчет летательного аппарата (самолета и др.), т. е. определить его форму и размеры при заданном полетном весе, потребную мощность двигателя, потолок, макс. и посадочную скорости и т. д.

Для расчета устойчивости движения тела в среде необходимо знание не только самих аэродинамич. коэфф., но и их производных по углу атаки, углу скольжения, угловой скорости и ускорению.

Комплекс устройств, предназначенный для автоматизации эксперимента, должен иметь в своем составе, помимо вычислит. машины, входной и выходной блоки для установления соответствующей связи между машиной и датчиками, характеризующими физ. особенности изучаемого процесса. Необходимый для нормальной эксплуатации машины осн. комплект оборудования должен обеспечивать ввод в машину программы проведения эксперимента, вывод результатов на выходной носитель, печатание результатов, визуальное наблюдение графиков, а также возможность фиксации изображения. В ряде случаев проведение аэродинамич. эксперимента требует выдачи из вычислит. машины стимулирующих или управляющих сигналов дискретного или непрерывного вида, к-рые могут быть необходимы, напр., в том случае, когда ход эксперимента должен синхронизироваться машиной. В этих случаях в состав комплекса должно входить устройство формирования сигналов пропорционального или двухпозиц. управления.

Схема автоматизации аэродинамич. эксперимента дана на рис. 6. В схеме используют

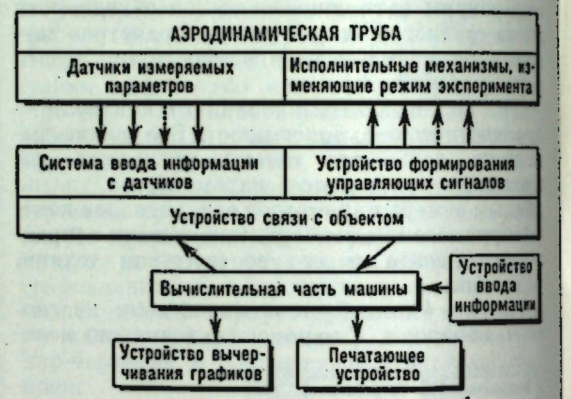


Рис. 6. Схема автоматизации аэродинамич. эксперимента.

У. ц. м., в составе которой имеются входное и выходное устройства, предназначенные для связи ее с объектом и работающие по командам, выдаваемым машиной. По ходу эксперимента машина собирает информацию, характеризующую текущее состояние исследуемого процесса: сигналы от датчиков, установленных на испытываемой модели и в различных частях аэродинамич. трубы; информацию от оператора, дополняющую текущую информацию о процессе; сигналы от оператора об изменении режима расчетов, о внеочередной печати данных.

В ряде случаев оказывается возможным вести обработку текущей информации в ходе эксперимента. Возможно также по программе, реализуемой машиной, изменять режимы дутья, нагрева и др. параметров, расширяя тем самым диапазон исследований.

Автоматизация аэродинамич. эксперимента сокращает его продолжительность, ускоряет вычислительные работы, увеличивает эффективность использования испытательного оборудования, повышает точность получаемых результатов, упрощает обслуживание аэродинамич. установки.

6) Автоматизация химических, нефтеперегонных и других объектов с непрерывным характером технологического процесса. В наиболее распространенной системе управления непрерывным процессом (рис. 1) машина работает в режиме советчика (если система замыкается через оператора) или в режиме автоматич. управления (если машина автоматически выдает задания на регуляторы). Элементарный контур регулирования автоматич. системы приведен на рис. 7.

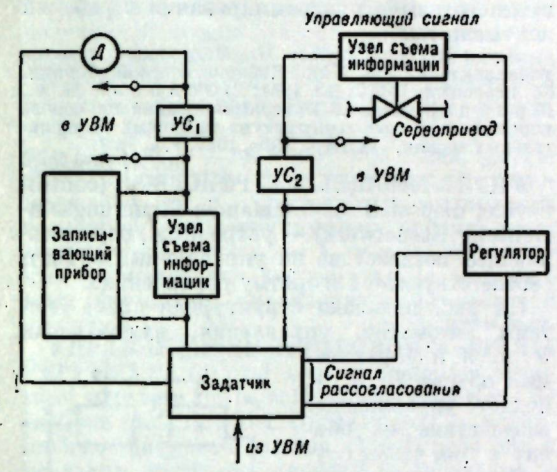


Рис. 7. Блок-схема элементарного контура регулирования.

Сигнал датчика $Д$ через узел съема информации $УС_1$ подается в управляющую машину $УВМ$, одновременно он записывается и поступает на схему сравнения задатчика.

$УВМ$ вычисляет задание регулятору и выдает его на схему сравнения задатчика. Сигнал рассогласования между величиной сигнала датчика и величиной задания поступает на регулятор. Последний вырабатывает управляющий сигнал, воздействующий на сервопривод (задвижки, вентиля и т. п.). Одновременно с помощью узла съема информации $УС_2$ он подается в $УВМ$ для сравнения с заданным машиной воздействием (с целью контроля работы оборудования).

$УВМ$ может управлять большим количеством элементарных контуров регулирования. Сложные хим. установки имеют несколько десятков контуров регулирования. Производительность установок, управляемых вычислит. машинами, повышается от долей % до нескольких %, что дает большой экономич. эффект для крупных установок, производящих ценные продукты.

Для установок малой производительности экономически выгоднее использовать специализированные У. ц. м., заменяющие систему обычных регуляторов. Блок-схема системы цифрового регулирования показана на рис. 8. Сигналы датчиков от элементарных контуров регулирования через коммутатор и аналого-дискретный преобразователь $А/Д$ поступают в цифровой регулятор (специализированную ЦВМ). Здесь они сопоставляются с заданиями, поступающими от оператора или центральной вычислит. машины. В случае рассогласования сигнала и задания выполняются вычисления, обеспечивающие подсчет управляющего воздействия. Последнее через коммутатор выдается непосредственно на сервопривод. Цифровой регулятор может заменять несколько десятков обычных регуляторов. Экономич. эффект проявляется в случае, когда число контуров регулирования превышает 50. При создании дешевых цифровых пневморегуляторов

замена 10—20 регуляторов будет экономически выгодной. Учитывая, что цифровой регулятор легко сопрягается с управляющей машиной и что можно использовать более совершенные

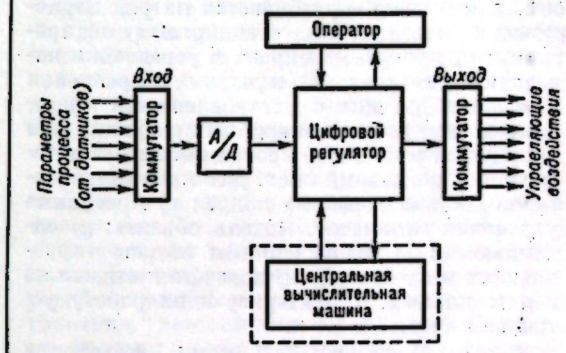


Рис. 8. Блок-схема системы цифрового регулирования.

алгоритмы регулирования, следует ожидать дополнит. экономич. эффекта за этот счет. Цифровые регуляторы используются в основном на вновь создаваемых предприятиях, поскольку замена системы обычных регуляторов на существующих предприятиях не имеет смысла.

Для автоматизации крупных хим. з-дов используются многомашинные (как правило, двухступенчатые) системы управления. Блок-схема одной из возможных систем показана на рис. 9.

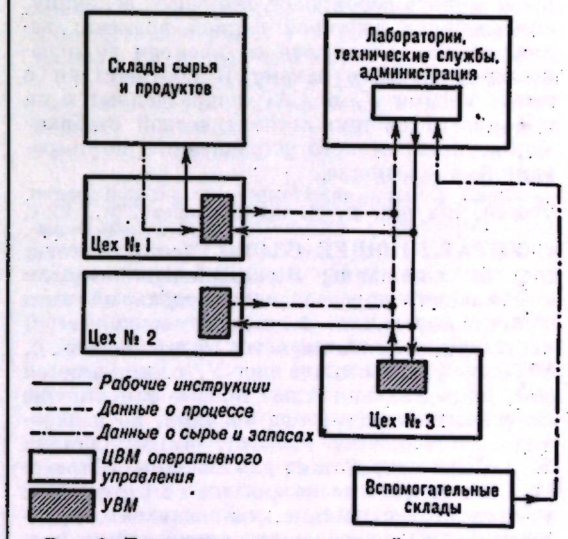


Рис. 9. Блок-схема многомашинной системы управления хим. з-дом.

Вычислит. машины, используемые в такой системе, являются, как правило, модификациями базовой управляющей машины общего назначения. Центральная машина системы включает макс. комплект оборудования и отличается большими объемами оперативной (несколько тыс. или десятков тыс. слов) и внешней памяти (сотни тыс. или млн. слов). Кроме того, ей придаются несколько (3—4) цифро-буквопечатающих устройств. Оборудование остальных машин подбирается исходя из задач контроля и управления, решаемых в тех цехах, где они расположены. Система связи между машинами в большинстве случаев строится по радиальному принципу. Перифе-

рийная машина может запрашивать информацию из другой такой же машины через центральную вычислит. машину.

Алгоритм управления непрерывным процессом, как правило, разбивается на ряд периодически повторяемых стандартных подпрограмм: а) программа опроса и усреднения показаний датчиков; б) программа сравнения показания датчика с установленными пределами и определения аварийных ситуаций или нарушений режима; в) программа опроса и вычисления показаний спец. датчиков (анализаторов состава вещества и др.); г) программа уточнения математич. модели объекта; д) оптимизации; е) вычисления и выдачи управляющих воздействий; ж) подсчета и выдачи на печать данных, характеризующих работу установки за 1, 7 и 24 ч.

Лит.: 1) Ющенко Е. Л. [и др.], Управляющая машина широкого назначения «Дніпро» и программирующая программа к ней, Киев, 1964; 2) Малиновский Б. Н., Цифровые управляющие машины и автоматизация производства, М., 1963.

В. М. Глушков, Б. Н. Малиновский, В. М. Египко, В. С. Каленчук, А. И. Никитин.

УПРАВЛЯЮЩЕЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ (manipulated variable; grandeur d'entrée de commande; Steuergröße, Führungsgröße) — воздействие на входе САР, приложенное к управляющему или задающему элементу. В соответствии с У. в. в управляющем элементе вырабатывается полезный входной сигнал, с к-рым сравнивается сигнал главной обратной связи. По своему характеру У. в. могут представлять собой: пост. величину; величину, описываемую заданной ф-цией времени; величину, изменяющуюся во времени по неизвестному заранее закону. В соответствии с этими видами У. в. САР подразделяются на три класса систем: автоматической стабилизации, программного управления (регулирования) и следящие.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

Б. И. Андрейчиков.

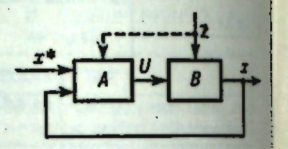
УПРАВЛЯЮЩЕЕ СЛОВО (control word; mot de commande; Steuerbefehl) — кодовая комбинация, определяющая отдельный этап функционирования вычислит. машины. В частности, *команда* является простейшим У. с. В более узком смысле под У. с. понимается *код*, определяющий не только выполнение отдельных операций над числами, но и переход по числовому массиву. Такая система У. с. была разработана для машины «Стретч» [1]. Эта система тесно связана со структурой команд в этой машине, являющихся одноадресными, но содержащих, кроме адреса операнда, также номер индексного регистра. У. с. в этом случае содержит информацию о функционировании индексного регистра и счетчика циклов. Тем самым с его помощью можно удобно задавать переадресации внутри числового массива. У. с. можно применять к заданию различного типа массивов — в т. ч. одномерных, двумерных и т. д., т. е. можно задавать массивы, описываемые различным количеством индексов [2]. У. с. могут также описывать массивы команд. С усложнением ф-ций управления в вычислит. машинах все сильнее сказываются положит. стороны применения У. с. для записи исходной информации к алгоритму: У. с. позволяют более экономно и более обозримо записывать алгоритм, чем обычные команды. С помощью У. с. хорошо записываются исходные и промежуточные массивы величин. Информация, содержащаяся в У. с., может быть непосредственно расшифрована УУ машины и преобразована в управляющие сигналы. Тем самым может быть существенно облегчена задача трансляции со входного языка программирования в рабочий код машины.

Лит.: 1) Блоу Дж. Э., Индексация и метод управляющих слов, в кн.: Кибернетический сборник. Сб. переводов, [№] 2, М., 1961; 2) Осипова М. А., Шрейдер Ю. А., Программирование на основе управляющих слоев и структура цифровых вычислительных машин, «ЖВМ и МФ», 1964, т. 4, № 3.

Ю. А. Шрейдер.

УПРАВЛЯЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО (control device; dispositif de commande; Steuerungseinrichtung, Steuerwerk) — устройство, осуществляющее воздействие на управляемый объект, соответствующее алгоритму управления.

На рис. показана структурная схема системы автоматич. управления, включающая У. у. *A* и управляемый объект *B*. У. у. подает управляющее воздействие на объект с тем, чтобы осуществить требуемую цель управления.



Цель управления состоит в том, чтобы нек-рый критерий J, характеризующий работу объекта, достигал экстремального (макс. или минимального) значения. Для определенности допустим, что цель состоит в достижении значения минимума величины J. Эта величина зависит от процесса x на выходе объекта, а также от поступающего извне процесса x^*, к-рое служит заданием. Т. о., цель управления состоит в обеспечении условия:

$$J(x, x^*) = \text{миним.} \qquad (1)$$

В САР требуется, чтобы x возможно меньше отличалось от x^* (в частности, x^* может равняться нулю), напр. чтобы

$$J(x, x^*) = (x - x^*)^2 = \text{миним.} \qquad (2)$$

Цель управления не может быть полностью достигнута, т. к. на объект B, помимо управляющего воздействия U, действует заранее непредвиденная и, как правило, неконтролируемая помеха Z. Поэтому x зависит не только от U, но и от Z:

$$x = x(U, Z). \qquad (3)$$

Эта зависимость может носить характер связи между мгновенными значениями величин, характер дифференц. ур-ния и т. д. У. у. для наилучшего достижения цели управления должно учитывать всю возникающую информацию об управляемом объекте и на ее основе вырабатывать управляющее воздействие U. Если задание x^*, помеха Z и ур-ние (3) заданы заранее, то можно вычислить требуемое управляющее воздействие U для каждого момента времени и заложить его в У. у. Однако в общем случае полная априорная информация об управляемом объекте отсутствует. Поэтому часто требуется подавать на У. у. текущее значение задания x^*, а также сведения о состоянии объекта, т. е. значение x^*. Последнее подается по линии обратной связи, связывающей выход объекта B с входом У. у. В нек-рых случаях, когда имеется возможность измерения текущих значений помехи Z, последние также подаются на У. у. (пунктирная линия на рис.).

На основании поступивших значений x, x^*, Z вырабатывается управляющее воздействие:

$$U = U(x, x^*, Z). \qquad (4)$$

Зависимость (4) наз. алгоритмом У. у. Алгоритм может иметь сложный характер, напр. величина U может зависеть не только от текущих значений, но и от прошедшей истории системы. Поэтому в У. у. могут включаться запоминающие блоки. Если алгоритм сложен, то У. у. фактически представляет собой сложное вычислит. устройство, к-рое наз. управляющей машиной. Если алгоритм (4), заложенный в У. у., обеспечивает минимально возможное при существующих ограничениях значение критерия J, то У. у. наз. оптимальным управляющим устройством, а всю систему автоматич. управления — оптимальной системой.

А. А. Фельдбаум.

УПРАВЛЯЮЩЕЙ ЦИФРОВОЙ МАШИНЫ СТРУКТУРА (digital control computer structure; structure de la calculatrice numérique de gestion; Strukture der Digitalregler) — управляющая цифровая машина (УЦМ) работает в реальном масштабе времени. Управление в реальном масштабе времени характеризуется: а) большим объемом внешней информации, поступающей с высоким темпом и в произвольные моменты времени; б) жестким циклом управления, требующим решения определ. задач и выдачи данных управляемым органам в заданные моменты времени; в) большим количеством операций поиска и сортировки данных, связанных с решением задач оценки обстановки и выбором оптимальных вариантов управления; г) зависимостью объема и содержания вычислений от характера поступающей внешней информации и перестроением программы вычислений в процессе работы; д) оперативным взаимодействием машины и людей — операторов.

Типовая УЦМ выполняет следующие осн. ф-ции: а) прием в произвольные моменты времени внешних сообщений и запросов; б) переработка информации и выдача команд управления управляющим органам; в) выдача внешним абонентам требуемой информации и команд управления; г) прием указаний и запросов операторов и их реализация; д) выдача данных на систему отображения по программе или по запросам операторов. Кроме того, УЦМ выполняют ряд дополнит. ф-ций (контроль своей работы и работы всей системы автоматич. управления, включая каналы связи; документирование процесса управления; автоматич. переключение, в случае необходимости, неисправных устройств и частей системы и др.).

Во всех случаях осн. требование к процессу управления — его оптимальность, интерпретируемая в каждом конкретном случае в соответствии с нек-рыми заранее установленными критериями (макс. пропускная способность системы, заданная точность и темп управления и др.). Требование оптимальности управления при наличии непрерывно меняющихся внешних условий и внутр. состояния управляемой системы приводит к требованию гибкости программы, к-рая должна обеспечивать возможность приспособления системы к конкретным условиям и изменениям в процессе работы.

Принципиально возможны различные методы построения гибких, приспосабливающихся и даже обучающихся и самосовершенствующихся алгоритмов и программ работы УЦМ, обеспечивающих в той или иной степени приближение к оптимальному процессу управления. Пока наиболее реальным способом построения гибкой программы является построение ее в виде заранее составленных наборов более или менее автономных функцион. блоков, к-рые могут объединяться в различные последовательности (или выполняться одновременно) в зависимости от складывающихся конкретных условий. Такие автономные блоки программы (подпрограммы) независимы в алгоритмич. отношении, но в то же время связаны между собой общими массивами информации, к-рую совместно перерабатывают и используют. Указанная алгоритмич. автономность и информац. связь отдельных блоков алгоритма и программы являются особенностью программ УЦМ, определяющей в значительной степени их структуру.

Другая особенность программ УЦМ — их постоянство. Машины работают, как правило, по одной программе, к-рая сохраняется неизменной длит. время. При этом появляется возможность хранения этой программы в долговременных ЗУ так же, как и значительного количества вспомогат. информации (константы программирования, хар-ки управляемых объектов и источников информации, таблицы ф-ций и т. д.).

К числу особенностей УЦМ следует отнести также исключительно большие объемы и сложность программ, а также совмещение во времени их разработки с разработкой самих УЦМ. Эта особенность УЦМ вместе с применением в них долговременных ЗУ требует отладки программ методом моделирования с помощью универс. ЦВМ.

Осн. особенности У. ц. м. с.: 1) высокое быстродействие и приспособленность к решению задач информационно-логич. характера; 2) наличие спец. систем ввода — вывода и управления обменом данных, обеспечивающих возможность приема и выдачи данных в любые моменты времени в процессе работы машины; 3) наличие системы оперативного отображения информации и ввода указаний операторов; 4) использование долговременных ЗУ для хранения программы и вспомогат. информации, что обеспечивает существенное сокращение объема аппаратуры, повышение быстродействия (за счет применения табличных способов вычислений) и повышение надежности хранения программы и указанных данных.

Важнейшее требование, предъявляемое к УЦМ,— обеспечение высокой надежности и устойчивости работы, что реализуется как аппаратурными способами (дублирование, резервирование, схемы контроля и т. д.), так и программными способами (программы анализа и автоматич. исправления сбоев, программные способы контроля).

Лит.: Лоскутов В. И., Управляющие математические машины, М., 1962; Нечас И., Внедрение электронных автоматических вычислительных машин в управление промышленными предприятиями, пер. с чеш., М., 1963; Белостецкий А. А., Вальденберг Ю. С., Меркурьев Л. И., Применение вычислительных машин для автоматизации производственных процессов, М.—Л., 1964.

А. М. Китов.

УПРУГИЙ ЭЛЕМЕНТ (elastic element; élément élastique; elastisches Element) — см. *Мембрана.*

УПРУГОДЕФОРМИРУЕМЫЙ ПЕРЕХОД, *пьезопереход* [elastic deformation contact (transfer); transition à déformation élastique; DV-Verhalten], — *электронно-дырочный переход*, у которого вольтамперная характеристика изменяется в зависимости от прикладываемого к нему анизотропного мех. давления (площадь контакта неск. *мк*). При этом происходит смещение прямой и обратной ветвей вольтамперной хар-ки; при давлении 10^5 *кг/см*^{2} ток возрастает в сотни раз. На изменение давления реагирует область *p—n*-перехода в непосредств. близости от контакта, имеющая объем в неск. *мк*^{3}. Поэтому У. п. можно изготовлять чрезвычайно малых размеров. Механич. резонансная частота оказывается достаточно высокой и переход может работать на частотах до сотен *кгц*, не искажая внешний сигнал. Чувствительность ограничивается шумами и стабильностью *p—n*-переходов. Для их создания пригодны *германий*, *кремний*, *полупроводниковые соединения* типа $A^{III}B^{V}$ (антимонид индия и др.).

У. п. можно использовать при изготовлении миниатюрных микрофонов, тензодатчиков, преобразователей смещений, акселерометров и т. п.

Лит.: «Труды Института радиоинженеров» (США), рус. пер., 1962, т. 50, № 10, с. 2140; «J. Appl. Phys.», 1962, v. 33, № 8, p. 2479. *М. М. Горшков.*

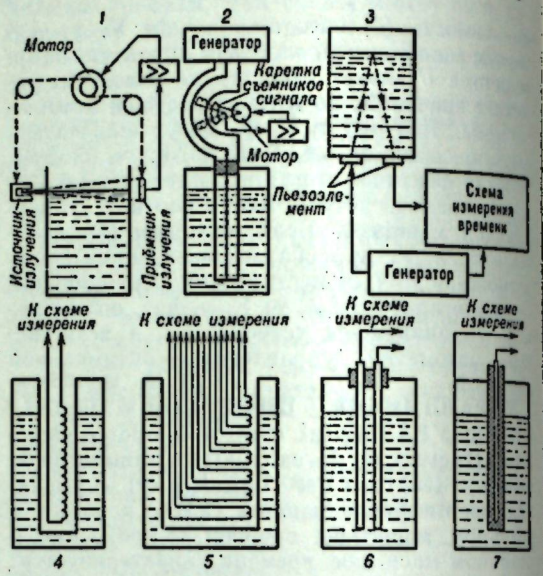
УРОВЕНЬ ШУМОВ (noise level; niveau de bruit; Geräuschpegel) — см. *Шумы*.

УРОВНЕМЕР ВОЛНОВОЙ [wave level gauge; jauge (indicateur) de niveau à ondes; Füllstandsmessgerät (nach dem Radarprinzip)] —прибор для контроля уровня жидкостей, основанный на зависимости нек-рой хар-ки колебат. процесса от значения контролируемого уровня; позволяет контролировать уровень агрессивных и токсичных сред или сред, находящихся при высоких значениях давления и темп-ры в герметич. емкостях, не допускающих ввода к.-л. перемещающихся устройств внутрь контролируемого объема. Основные типы У. в.:

Наименование типов У. в.	Диапазон, в к-ром производятся измерения ($сек^{-1}$)
Радиоизотопный	до $3\cdot10^{18}$
Оптический	$7{,}5\cdot10^{16}$ — $3{,}9\cdot10^{14}$
Резонансный	10^8 — 10^6
Радиоинтерференционный	$5\cdot10^7$ — 10^7
Индуктивный	10^8 — 10^4
Емкостный	10^5 — 10^4
Ультразвуковой	10^7 — 10^4

Радиоизотопный У. в. основан на просвечивании объекта контроля излучением (как правило, гамма-излучением) радиоизотопов. Большое распространение получили радиоизотопные У. в. со следящей системой, содержащей 2 вертик. колонки, расположенные по разные стороны или внутри объекта контроля. В одной колонке перемещается источник излучения, в другой — синхронно с источником перемещается приемник излучения (как правило, группа галогенных счетчиков). Система настраивается т. о., чтобы источник и приемник излучения стремились занять положение, соответствующее ср. значению сигнала приемника, имеющему место при расположении источника и приемника против контролируемого уровня.

Оптический У. в. основан на просвечивании объекта контроля световым лучом и устроен аналогично радиоизотопному.



Датчики волновых уровнемеров: *1* — радиоизотопного и оптического; *2* — радиоинтерференционного; *3* — ультразвукового; *4* — индуктивного непрерывного типа; *5* — индуктивного дискретного типа; *6* — емкостного неэлектропроводных сред; *7* — емкостного электропроводных сред.

В качестве источника светового излучения используется лампочка накаливания с коллиматором, в качестве приемника — фотоэлемент. Т. к. оптич. У. в. могут применяться только для объектов контроля с прозрачными стенками, эти У. в. не получили широкого распространения.

Резонансный У. в. основан на измерении собственной частоты полого резонатора, к-рым служит сосуд с измеряемой средой. Примером резонансного У. в. служит автоматич. У. в.— *автур*.

Радиоинтерференционный У. в. основан на использовании зависимости распределения токов и напряжений в длинной двухпроводной (коаксиальной) линии от величины уровня контролируемой жидкости, заполняющей в той или иной мере ее концевой участок. Питание линии осуществляется от генератора электромагнитных колебаний стабилизированной частоты. Радиоинтерференц. У. в. применяются обычно для контроля уровня электропроводных жидкостей. Датчик представляет собой участок коаксиальной линии (жесткого фидера), погруженный в объект с контролируемой средой и соединенный коаксиальным кабелем с измерит. блоком прибора. Измерит. блок содержит ВЧ генератор и систему слежения за положением одного из узлов стоячей электромагнитной волны, возникающей в коаксиальной линии в результате сложения падающей и отраженной от измеряемого уровня (места короткого замыкания линии) волн. При изменении места короткого замыкания в датчике эпюра стоячей волны перемещается вдоль линии, в связи с чем благодаря наличию следящей системы изменяются показания У. в.

Индуктивный У. в. основан на измерении изменений комплексного сопротивления катушки индуктивности датчика, вносимых контролируемой электропроводной средой (за счет возникновения в контролируемой среде вихревых токов). Индуктивные У. в. подразделяются на У. в. непрерывного и дискретного действия. Датчик индуктивного У. в. непрерывного действия содержит одну катушку, расположенную вертикально вдоль всего объекта контроля. Датчик индуктивного У. в. дискретного типа состоит из неск. расположенных вдоль общей оси независимых катушек, комплексное сопротивление каждой из к-рых меняется, когда уровень измеряемой среды достигает значения, соответствующего положению катушки. Преимуществом датчиков индуктивных У. в. является возможность устанавливать их на объектах с цельносварным корпусом из немагнитной стали. Датчик вводится в «карман» (вертикальная труба с заваренным дном), вваренный в верхнее днище объекта контроля. При этом датчик У. в. может свободно извлекаться и вновь устанавливаться без нарушения герметичности объекта. Измерение комплексного сопротивления катушек датчика производится с помощью ВЧ мостов. Для У. в. дискретного типа каждый мост имеет на выходе реле, срабатывающее, когда измеряемый уровень достигает соответствующей катушки датчика. Рабочая частота измерения выбирается оптимальной исходя из необходимости повышения индуктивного сопротивления датчика и увеличения глубины проникновения электромагнитного поля в контролируемую среду. Последнее связано с тем, что поле не должно существенно поглощаться в металлич. экране, образованном стенками трубы, в к-рой устанавливается катушка датчика. Индуктивные У. в. применяются для измерения уровня жидких металлов.

Емкостный У. в. основан на измерении электрич. емкости датчика, находящейся в зависимости от значения измеряемого уровня. Датчик представляет собой конденсатор, вытянутый вдоль объекта с измеряемой средой. Для измерения уровня электропроводных сред применяются датчики с одним изолированным электродом. Роль 2-го электрода играет измеряемая среда. Для измерения уровня неэлектропроводных сред используются датчики с 2 неизолированными электродами (роль одного из электродов иногда играют стенки сосуда, в к-ром производятся измерения). При изменении уровня электропроводной среды меняется величина поверхности обкладки конденсатора, образованной измеряемой средой. При изменении уровня неэлектропроводной среды в слое диэлектрика, заполняющего пространство между электродами, происходит замещение воздуха измеряемой средой, имеющей существенно большую диэлектрич. проницаемость. Измерит. схемы, как правило, представляют собой ВЧ мостовые схемы. Рабочая частота выбирается с учетом стремления уменьшить емкостное сопротивление датчика по сравнению с его активным сопротивлением. Емкостные уровнемеры в связи с их универсальностью и простотой нашли широкое распространение в пром-сти.

Ультразвуковой У. в. основан на измерении времени прохождения УЗ (зондирующего) импульса от источника УЗ колебаний до поверхности контролируемой жидкости и отраженного УЗ импульса от поверхности жидкости до приемника УЗ колебаний. На практике нашел применение вариант УЗ У. в. с распространением УЗ импульса через контролируемую жидкость (ввод снизу). При этом пьезоэлемент, являющийся одновременно и источником и приемником УЗ колебаний, притирается к днищу объекта контроля (УЗ вводится в объект через металлич. днище). Измерение времени между зондирующим и отраженным импульсами осуществляется с помощью схем, трансформирующих интервалы времени в ширину электрич. импульсов с последующим интегрированием. Преимуществом УЗ метода измерения уровня является возможность обеспечить измерение уровня в условиях высоких темп-р и давлений внутри объекта контроля без нарушения целостности контура объекта (объект может быть цельносварным). При помощи УЗ У. в. трудно измерять уровень кипящих и бурлящих, а также неоднородных жидкостей, т. к. УЗ рассеивается при взаимодействии с пузырями, твердыми включениями и другими неоднородностями.

Лит.: Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н., Датчики систем автоматического контроля и регулирования, М., 1959; Таточенко Л. К., Радиоактивные изотопы в приборостроении, М., 1960; Коротков Л. И., Справочник по радиоизотопным приборам для контроля и автоматизации технологических процессов, М., 1963; Бендик П. И., Лапидес А. М., Судовые контрольно-измерительные приборы, М., 1964; Приборостроение и средства автоматики. Справочник, т. 2, кн. 2, М., 1964. *Г. Г. Иордан, Б. А. Левинсон.*

УРОВНИ КОДИРОВАНИЯ ИНФОРМАЦИИ (information coding levels; niveaux de codage d'information; Niveau der Informationscodierung) — структурные элементы текстовых сообщений, к-рые при автоматич. передаче и обработке информации целесообразно выделять, кодировать и преобразовывать в качестве самостоятельных объектов.

В произвольных текстовых сообщениях могут быть выделены следующие У. к. и.: 1) уровень букв, 2) уровень сочетаний букв равной длины, 3) уровень слов, 4) уровень сочетаний слов, 5) уровень предложений. В нек-рых случаях в качестве самостоятельных объектов кодирования могут рассматриваться сообщения, состоящие из нескольких предложений, а также статьи, рефераты, документы, книги и т. п.

Первоначальное кодирование текстовых сообщений для их ввода в автоматич. устройства обычно осуществляется на уровне отдельных букв. Оно может вестись вручную и автоматически. В первом случае кодирование производит человек, пользуясь клавиатурой, позволяющей заменять каждую букву на соответствующую ей кодовую комбинацию. Во втором случае — читающий автомат, опознающий графич. образы букв.

При передаче текстовой информации по каналам связи она кодируется обычно на уровне букв. Для повышения достоверности передачи в коды букв иногда вносится избыточность в форме, удобной для автоматич. обнаружения и исправления ошибок (см. *Информации теория*, *Избыточность*).

Автоматич. обнаружение и исправление ошибок может быть осуществлено и за счет избыточности, свойственной всем естеств. языкам. Эта избыточность позволяет обнаруживать и исправлять не только искажения, появляющиеся в процессе передачи текстовой

информации по каналам связи, но и ошибки, возникающие при ее первоначальном кодировании. Однако подобный путь повышения достоверности передачи информации более сложен в практич. реализации, чем применение спец. *кодов обнаружения и исправления ошибки*.

Избыточность естеств. языков может быть использована для повышения скорости передачи текстовых сообщений по каналам связи и экономии места в ЗУ ЭВМ. Для этого часто встречающимся элементам сообщений ставятся в соответствие более короткие коды, а редко встречающимся элементам — более длинные. В результате достигается общее сокращение длины сообщений.

Сообщения с учетом их статистич. хар-к могут кодироваться на уровне отдельных букв, на уровне сочетаний двух, трех и т. д. букв (биграмм, триграмм и т. д.), на уровне отдельных слов, а в нек-рых случаях на уровне сочетаний слов, на уровне предложений и на уровне сообщений, включающих несколько предложений (пример последних — типовые поздравит. телеграммы). Однако кодирование на уровне букв и сочетаний букв равной длины оказывается малоэффективным. Значительно больший эффект дает лексическое (пословное) кодирование. Оно приводит к сокращению длины кодов сообщений в 2,5—3 раза.

Для лексич. кодирования сообщений необходимо хранить в памяти устройств передачи и обработки информации побуквенные коды наиболее часто встречающихся слов. В процессе кодирования только эти слова заменяются на короткие кодовые комбинации, а редко употребляемые слова оставляются в побуквенном коде.

В автоматизированных информац. системах, базирующихся на электронных *информационных машинах*, кодирование сообщений имеет свою специфику. Здесь сведения должны представляться в форме, удобной для *информационного поиска* и последующей обработки. Поэтому для их записи используются формализованные *информационные языки*.

Осн. структурные элементы информац. языков — коды понятий и коды связок, выражающих отношения между понятиями. Кроме этих элементов, здесь также используются различные разделительные и служебные признаки. На естеств. языке кодам понятий соответствуют наименования объектов и их хар-к, выраженные отдельными словами и сочетаниями слов.

Процесс записи сообщений на информац. языке представляет для человека значительные трудности. Этот язык труден также и для понимания. Поэтому возникает задача автоматизации перевода сообщений с естеств. языка на информационный и с информац. языка на естественный.

Полная автоматизация перевода произвольных текстовых сообщений на информац. язык пока не может быть осуществлена, поскольку еще нет точных методов решения сложных синтаксич. и семантич. проблем естеств. языков. Но эта задача существенно упрощается для формализованных текстовых сообщений, т. е. для таких сообщений, на структуру к-рых накладываются ограничения, облегчающие автоматич. перевод. Пример ограничений, накладываемых на естеств. язык,— требование записи сведений на бланках по определ. форме (см. *Таблица объектно-характеристическая*) или требование указывать в сообщениях границы наименований понятий.

При вводе информации в автоматич. устройства кодирование формализованных текстовых сообщений ведется на уровне букв. Далее, в процессе автоматич. перевода на информац. язык, оно осуществляется на уровне отдельных слов и сочетаний слов с учетом структуры информац. языка. Один из этапов перевода сообщений на информац. язык — *числовое кодирование понятий*, в результате к-рого словесные наименования понятий заменяются их порядковыми номерами по списку, хранящемуся в памяти машины.

Для осуществления операций автоматич. поиска и обработки информации недостаточно разным понятиям присвоить попарно-различные коды. Необходимо еще учесть и классификац. отношения между понятиями. Эти отношения могут быть отражены либо в спец. классификац. словаре понятий, либо в кодах понятий. В последнем случае номера понятий должны быть заменены классификац. кодами этих понятий. О классификационных отношениях между понятиями см. *Информационный поиск*, *Информационный язык*, *Научно-технической информации обработка*, а также [5,6].

Лит.: 1) Харкевич А. А., Очерки общей теории связи, М., 1955; 2) Бриллюэн Л., Наука и теория информации, пер. с англ., М., 1960; 3) Пиотровская А. А., Пиотровский Р. Г., Разживин К. А., Энтропия русского языка, «Вопросы языкознания», 1962, № 6; 4) Белоногов Г. Г., Григорьев В. И., Котов Р. Г., Автоматическое лексическое кодирование сообщений, там же, 1960, № 4; 5) Грязнухина Т. А., Пшеничная Л. Э., Скороходько Э. Ф., Система информационного поиска, Киев, 1964; 6) Энатский О. Д., Некоторые принципы построения классификационной системы для автоматической обработки информации, «Научно-техническая информация. ВИНИТИ», 1964, № 7.

Г. Г. Белоногов.

УСИЛЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТ (передаточный коэффициент) (gain amplification factor; gain; Verstärkungsfaktor) — величина, характеризующая всякое устройство, в к-ром происходит преобразование энергии, определяемое, как правило, 2 величинами, одна имеет смысл входного сигнала $U_{вх}$, а другая — выходного $U_{вых}$. В общем случае У. к. определяется, как $k=\frac{\partial U_{вых}}{\partial U_{вх}}$. При линейной зависимости между входным и выходным сигналами У. к. определяют как $k = U_{вых}/U_{вх}$. У. к. можно рассматривать как частный случай *передаточной функции*.

А. В. Шилейко.

УСИЛИТЕЛИ СВЕТА И ИЗОБРАЖЕНИЙ (light and image amplifiers; amplificateurs de lumière et d'image; Licht- und Bildverstärker) — устройства, служащие для усиления слабого светового сигнала (в частности, изображения). Если спектры входного и выходного излучения одинаковы, то усилитель света наз. гомохроматическим, если они различны — гетерохроматическим. В У. с. и и. используется управление яркостью электролюминесцентного свечения с помощью фотопроводимости (см. *Фотоэлектрические свойства полупроводников*) либо явление индуцированного излучения. Простейшим гетерохроматич. У. с. служит *электролюминесцентный элемент* с двумя прозрачными электродами, напряжение на к-ром недостаточно для возникновения сильного свечения (рис. 1); под действием внешнего освещения (ультрафиолетовыми или рентгеновскими лучами) в слое фосфора (фотопроводника, напр. ZnS—Mn, Cl) происходит фотоионизация, возникают

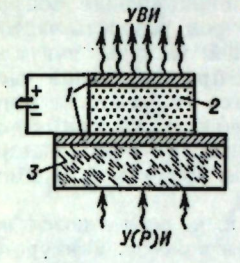


Рис. 1.

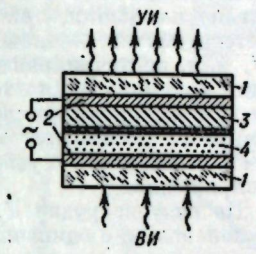


Рис. 2.

Рис. 1. Однослойный гетерохроматич. усилитель света и изображений: *УВИ* — усиленное видимое изображение; *1* — прозрачный электрод; *2* — электролюминофор (слой ~ 10 *мк*); *3* — основание конструкции (стекло); *У(Р)И* — ультрафиолетовое или рентгеновское изображение.

Рис. 2. Двухслойный усилитель света и изображений: *УИ* — усиленное изображение; *1* — стекло; *2* — прозрачные электроды; *3* — фотопроводник; *4* — электролюминофор; *ВИ* — входное изображение.

свободные носители заряда, к-рые, ускоряясь полем, вызывают электролюминесценцию. В таком однослойном усилителе один фотон падающего света при $\lambda = 3650$ Å может создавать 10 фотонов видимого света. Полутоновое изображение, созданное на поверхности такого элемента, может быть усилено и преобразовано в видимое, поскольку в различно освещенных участках элемента фотопроводимость и яркость свечения будут различными. Разрешающая сила такого усилителя изображений может достигать 10 *мк*.

Усиление видимого света осуществляется с помощью У. с. и и., принцип действия к-рых тот же, что и у *оптронов* с электрич. связью. Между двумя прозрачными электродами (рис. 2) находятся слои фотопроводника и фосфора, электрически соединенные последовательно. Входное изображение фокусируется на поверхности фотопроводника так, что в различных его участках (в зависимости от освещенности) возникает различная дополнит. фотопроводимость, а потому — и различное падение потенциала по толщине слоя фотопроводника; вследствие этого различные участки слоя фосфора оказываются также под различными напряжениями, а распределение яркости свечения по поверхности слоя фосфора соответствует распределению освещенности во входном изображении. Непрозрачный слой (напр., сажи) между слоями фотопроводника и фосфора необходим для устранения обратной оптич. связи между этими слоями, т. к. вследствие рассеяния света в слое фосфора при наличии такой связи произошло бы перемещение ярких участков выходного изображения на менее яркие, в результате чего вся поверхность усилителя оказалась бы равномерно яркой. Кроме того, при наличии обратной оптич. связи наиболее яркие участки изображения могут оказаться в бистабильном режиме, и для их «стирания» пришлось бы выключать внешнее напряжение.

Для изготовления У. с. и и. большой площади мелкий порошок фотопроводника связывают с помощью прозрачной пластмассы; этим достигается согласование импеданса слоя фотопроводника с импедансом слоя фосфора и одноврем. сохранение чувствительности (последнее невозможно в толстых спеченных слоях фотопроводника, т. к. свет поглощается в тонком поверхностном слое). Одноврем. согласование импеданса и сохранение высокой чувствительности можно получить также, придавая слою фотопроводника спец. ребристую структуру (рис. 3). Электрич. контакт осуществляется с помощью узких (~0,1 *мм*) полосовых электродов, а свет поглощается в канавках между этими электродами (расстояние между электродами ~0,5 *мм*). Чтобы ребристая структура фотопроводника не влияла на выходное изображение, под слоем фотопроводника помещается проводящий «слой растекания тока». В подобном У. с. и и. с площадью 30×30 *см*² коэфф. гомохроматич. усиления (в желтой области спектра) равен 100. Он может быть значительно увеличен при использовании неск. каскадов усиления.

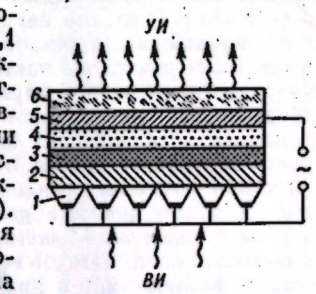


Рис. 3. Усилитель с ребристым слоем фотопроводника: *1* — фотопроводник; *2* — слой растекания тока; *3* — слой сажи; *4* — фосфор; *5* — прозрачный электрод; *6* — стекло.

Если устранить обратную оптич. связь между различными элементами изображения, но сохранить ее внутри каждого отдельного элемента, то можно получить устройство, не только усиливающее, но и сохраняющее изображение (по принципу бистабильного оптрона). Для этого либо фотопроводник, либо фосфор должны иметь дискретную структуру. В первом случае из фотопроводника изготовляют отдельные столбики (с прозрачными электродами у торцов), разделенные между собой непрозрачным диэлектриком (напр., стеклом). На 1 *см*² поверхности усилителя размещается 1000 таких столбиков. Во втором случае фосфором заполняют непрозрачную сетку, к-рая в значит. степени препятствует оптич. связи между различными элементами изображения. Однако вследствие остаточной связи сохраняемое изображение все-таки со временем (ок. десятков мин.) расплывается и портится.

При усилении света с помощью индуцированного излучения световой сигнал проходит через среду (напр., кристалл люминофора), к-рая освещается спец. источником оптич. накачки; при этом в отсутствие сигнала часть атомов среды находится в возбужденном состоянии. Если частота усиливаемого света находится внутри полосы излучения среды, то при прохождении сигнала через среду происходит индуцированное излучение света той же частоты; мощность светового сигнала данной частоты увеличивается — происходит усиление света.

Помимо использования У. с. и и. в различных регистрирующих, сигнальных и индикаторных системах, они имеют большие возможности как преобразователи света. Комбинация фотопроводника, реагирующего на инфракрасный свет, с электролюминофором,

излучающим видимый свет, позволяет создать устройство, преобразующее инфракрасное изображение в видимое. У. с. и и., сохраняющие изображение, используются в качестве элементов памяти.

Лит.: Хениш Г., Электролюминесценция, пер. с англ., М., 1964; Лазеры. Сб. ст., пер. с англ., М., 1963; «RCA Rev.», 1959, v. 20, № 4, p. 744.

М. М. Горшков.

УСИЛИТЕЛЬ АПЕРИОДИЧЕСКИЙ (aperiodical amplifier; amplificateur apériodique; aperiodischer Verstärker) — усилитель, у к-рого сопротивление нагрузки не обладает явно выраженными резонансными свойствами в широком диапазоне частот (апериодическая нагрузка). Апериодич. характер нагрузки У.а. обеспечивает равномерное (неизбирательное) усиление электрических сигналов в широком диапазоне частот. К У. а. относятся *усилители на сопротивлениях*, *усилители низкой частоты*, а также нек-рые *усилители широкополосные* и *усилители видеоимпульсов*, в к-рых с помощью спец. методов коррекции амплитудных и фазовых хар-к диапазон усиливаемых частот расширен до сотен *Мгц*. У. а. применяется иногда и в качестве *усилителя высокой частоты* в радиоприемных устройствах.

Ю. Б. Любченко.

УСИЛИТЕЛЬ ВИДЕОИМПУЛЬСОВ, видеоусилитель (veideo pulse amplifier; amplificateur vidéo d'impulsions; Videoimpulsverstärker) — усилитель электрич. сигналов, спектр к-рых содержит частоты от единиц *гц* до единиц и десятков *Мгц*. Назв. У. в. связано с осн. областью применения — усилением сигналов изображения в телевизионных приемниках (лат. video — видеть). У. в. применяется в радиолокации, телемеханике, аппаратуре для физич. исследований, для усиления импульсных сигналов и др. В качестве активных усилит. элементов в У. в. используются электронные лампы и полупроводниковые триоды; для уменьшения искажений формы усиливаемых сигналов служат различные методы коррекции (см. *Усилитель широкополосный*).

Л. Л. Москвитин.

УСИЛИТЕЛЬ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ (high frequency amplifier; amplificateur à haute fréquence; Hochfrequenzverstärker) — устройство для усиления электрич. сигналов ВЧ радиотехнич. диапазона (от 20 *кгц* до 30 *Мгц*). У. в. ч. получили широкое распространение в приемных и передающих устройствах автоматики, телемеханики, телеуправления, радиовещания, радиосвязи, телевидения, радиолокации, радионавигации, измерит. аппаратуры, в эксперимент. физике, медицине, биологии и т. п. У. в. ч. применяются как усилители напряжения и *усилители мощности*. Для У. в. ч. характерна узкая относит. полоса пропускания (0,01—0,1 по отношению к ср. частоте настройки) и высокая избирательность. Избират. частотная хар-ка обычно обеспечивается применением в качестве нагрузки перестраиваемого колебат. контура, хотя применяются также неперестраиваемые У. в. ч. (см. *Усилитель промежуточной частоты*).

Осн. хар-ки У. в. ч.— избирательность и усиление. Избирательность в отношении полезного сигнала характеризуется полосой пропускания; избирательность в отношении помех, частоты к-рых лежат вне полосы пропускания,— отношением резонансного коэфф. усиления к коэфф. усиления на частоте помехи. При применении У. в. ч. в супергетеродинных приемниках осн. значение имеет избирательность в отношении помех на зеркальной частоте (см. *Супергетеродин*). При настройке контуров У. в. ч. и гетеродина одной ручкой в отд. частях диапазона практически неизбежно нек-рое нарушение сопряжения настройки, при к-ром разность частот гетеродина и резонансной частоты контура У. в. ч. не точно равна промежуточной частоте приемника. Для того чтобы это не приводило к существ. уменьшению усиления приемника, необходимо полосу пропускания У. в. ч. выбирать с учетом возможной ошибки сопряжения.

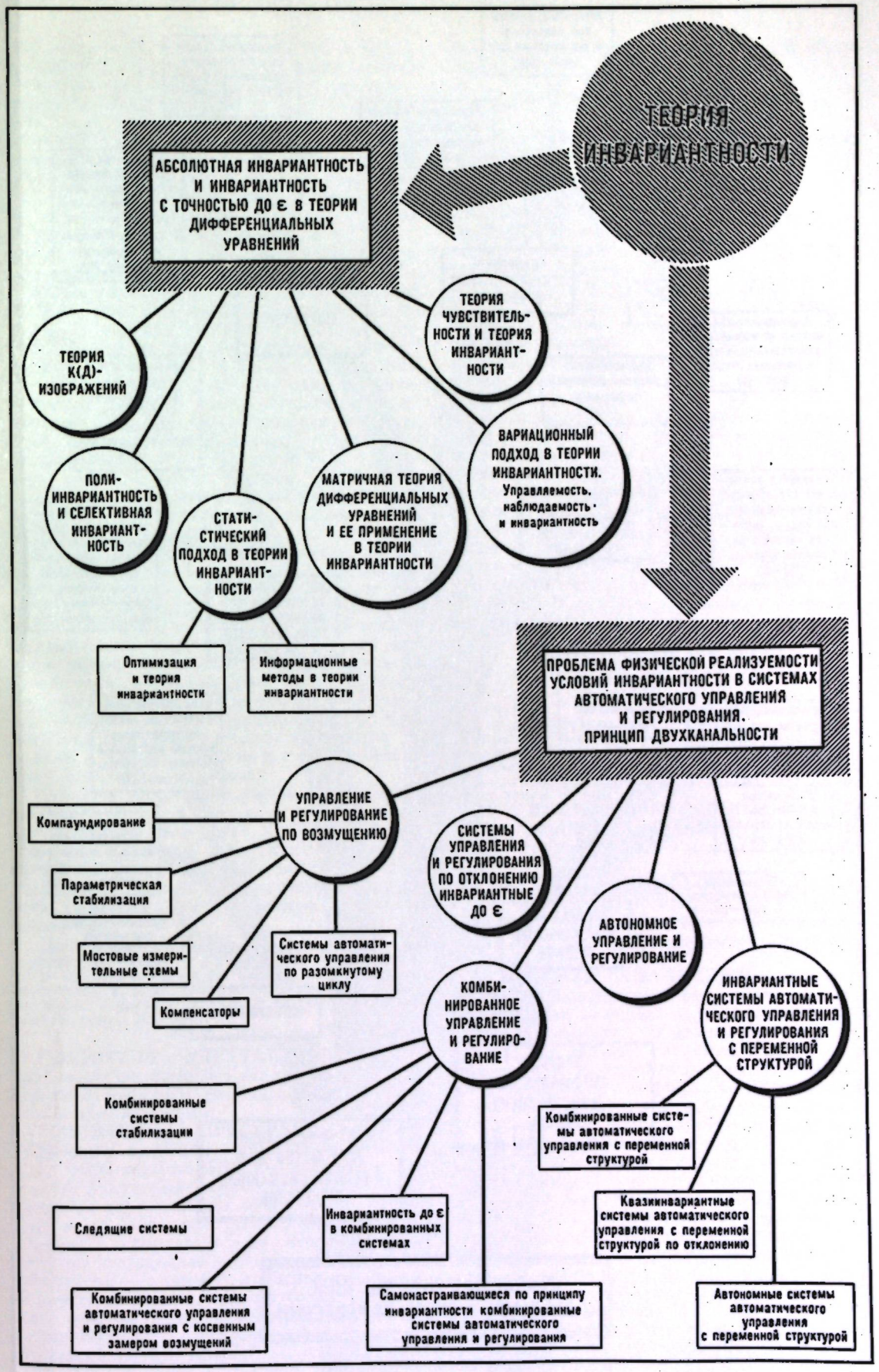
По виду нагрузки У. в. ч. разделяются на резонансные, с одиночным колебат. контуром, настроенным на частоту усиливаемого сигнала, и полосовые с двух- или трехконтурным резонансным *фильтром электрических*. Третий вид У. в. ч. — *усилитель апериодический* с ненастраиваемой нагрузкой. Резонансный У. в. ч. обладает наиболее узкой полосой пропускания, большим коэфф. усиления, высокой избирательностью и является осн. типом перестраиваемого У. в. ч. благодаря сравнит. простоте перестройки частоты резонансного контура изменением его емкости. Полосовой У. в. ч. может обеспечить более широкую полосу пропускания и меньшие искажения усиливаемого сигнала, т. к. форма его амплитудно-частотной хар-ки может быть приближена к прямоугольной. Однако из-за сложной схемы электрич. фильтра в этом типе У. в. ч. перестройка частоты сопряжена с большими трудностями. Поэтому полосовой У. в. ч. наиболее распространен как *усилитель промежуточной частоты* в супергетеродинных радиоприемниках. Апериодич. У. в. ч. обладает наиболее широкой полосой пропускания (см. *Усилитель широкополосный*).

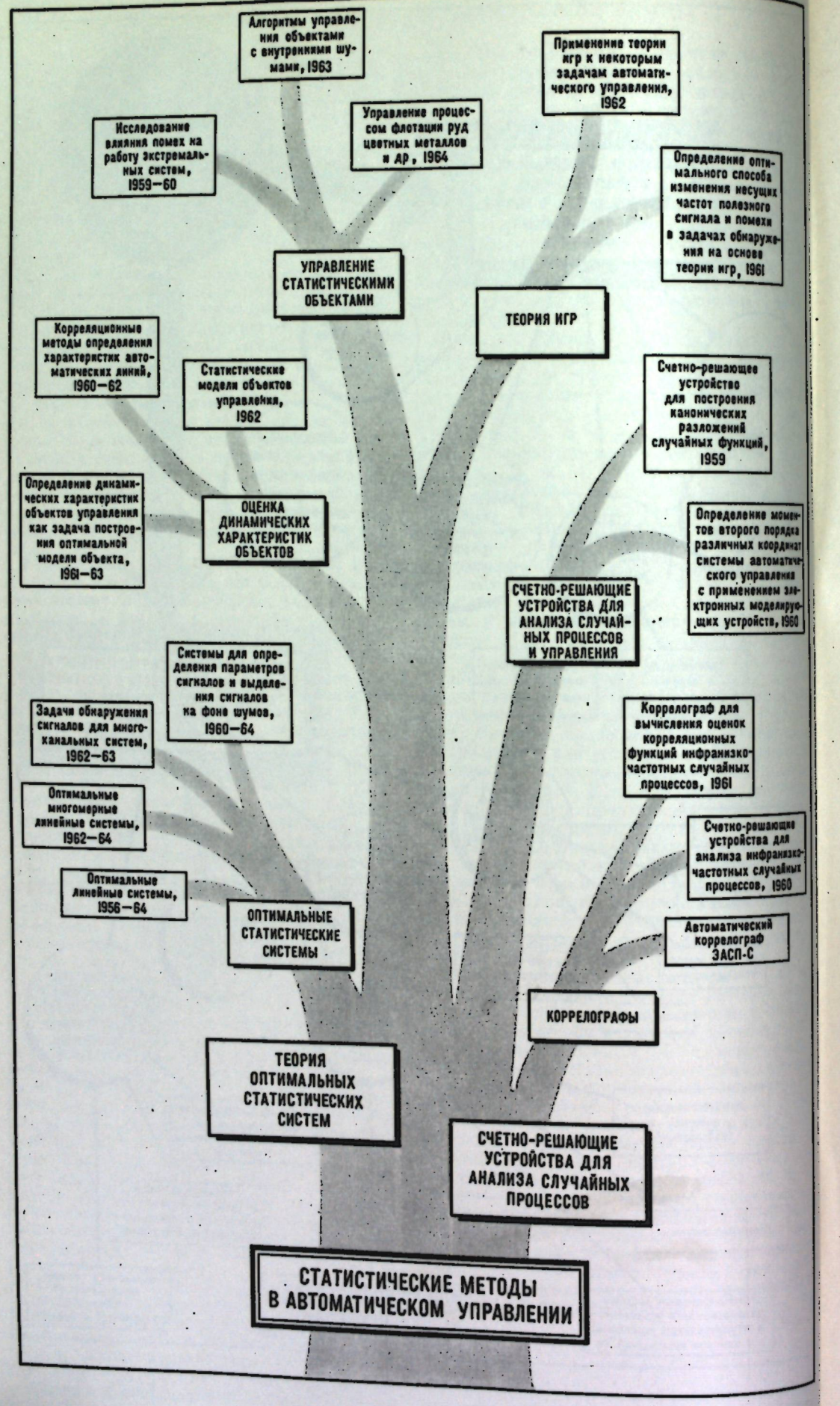
В У. в. ч. по напряжению на длинных, средних и коротких волнах обычно применяются ВЧ пентоды с малой проходной емкостью, а на УКВ для получения высокой чувствительности приемника — ВЧ триоды с большой крутизной, имеющие более низкий уровень собств. шумов.

По построению схемы ламповые У. в. ч. делятся на усилители с общим катодом, усилители с общей сеткой и усилители с общим анодом. По способу включения колебат. контуров различают У. в. ч. с непосредств. включением, с автотрансформаторным включением и с трансформаторным включением контуров. Наиболее распространены резонансные У. в. ч. с общим катодом, в к-рых входной контур включается между сеткой и катодом, а выходной контур — между анодом и катодом. Достоинство такого У. в. ч.— большое входное сопротивление, недостаток — огранич. величина макс. усиления из-за возможности самовозбуждения вследствие наличия обратной связи через емкость анод—сетка C_{ac}. Устойчивый коэфф. усиления У. в. ч. с общим катодом при идентичных входных и выходных контурах

$$K_0 < \frac{a}{p}\sqrt{\frac{S}{\omega_0 C_{ac}}},$$

где $\omega_0 = 2\pi/_0$ и p — коэффициент включения анодных контуров. При трансформатор-





ном включении $p = M/L$, где M — коэфф. взаимной индукции между катушкой связи и катушкой контура. При частичном автотрансформаторном включении: $p = (L + M)/L_{ак}$, где $L_{ак}$ — индуктивность части катушки контура, включенной между анодом и катодом. У однокаскадного У. в. ч. $a = 1{,}4$; у двухкаскадного — $a = 1$; у трехкаскадного — $a = 0{,}87$; у четырехкаскадного — $a = 0{,}82$ и т. д. Коэффициент усиления одного каскада резонансного У. в. ч. — $K = SR_{ос}p$, где S и $R_{ос}$ — крутизна лампы и эквивалентное сопротивление контура, включенного в анодную цепь. В У. в. ч. с общей сеткой входной контур включается между катодом и сеткой, а выходной — между анодом и сеткой. Достоинство такого усилителя — значит. уменьшение влияния емкости $C_{ас}$, что позволяет получить большое усиление и применять малошумящие триоды. Устойчивый коэффициент усиления одного каскада У. в. ч. с общей сеткой $K_0 \leqslant 0{,}4S/\omega_0 C_{ак}$, где $C_{ак}$ — емкость анод-катод. Недостаток У. в. ч. с общей сеткой — малое входное сопротивление вследствие протекания во входной цепи переменной составляющей анодного тока лампы.

У. в. ч. с общим анодом является, по существу, катодным повторителем, в к-ром входной контур включен между сеткой и точкой нулевого потенциала схемы («землей»), а выходной контур — между катодом и точкой нулевого потенциала. Особенность такой схемы — весьма большое входное сопротивление и очень малое выходное. Для получения большого усиления при малом уровне шумов, что особенно важно в диапазоне СВЧ, применяется сочетание каскадов на триодах по схемам с общим катодом и с общей сеткой (см. *Усилитель каскодный*).

Наряду с ламповыми широкое применение получают У. в. ч. на *транзисторах*. Осн. проблема при разработке У. в. ч.— обеспечение устойчивости (отсутствия склонности к самовозбуждению) и стабильности (постоянства параметров при наличии дестабилизирующих факторов) при сохранении требуемого усиления.

Лит.: Сиверс А. П., Радиолокационные приемники, М., 1952; Гуткин Л. С., Лебедев В. Л., Сифоров В. И., Радиоприемные устройства, ч. 1, М., 1961; Шапиро Д. Н., Основы теории и расчета усилителей высокой частоты на транзисторах, М., 1962.

И. М. Коган, Ю. Б. Любченко.

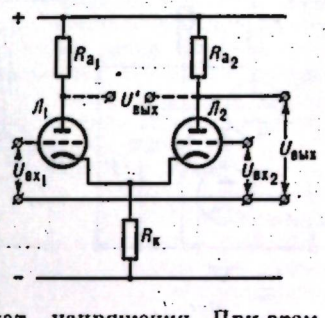
УСИЛИТЕЛЬ ДВУХТАКТНЫЙ (push-pull amplifier; amplificateur symétrique, amplificateur push-pull; Zweitaktverstärker) — см. *Усилитель мощности.*

УСИЛИТЕЛЬ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ (differential amplifier; amplificateur différentiel; Differentialverstärker) — усилитель, выходное напряжение к-рого пропорционально разности двух входных напряжений; применяется гл. обр. для уменьшения дрейфа в *усилителе постоянного тока*, используемом в качестве *операционного усилителя* в системах автоматики, аналоговой вычислит. техники и в электронных измерит. приборах постоянного тока, а также в качестве устройства, осуществляющего вычитание одной величины из другой (вычитателя).

На типовой схеме У. д. (рис.) знак выходного напряжения $U_{вых}$ совпадает со знаком входного напряжения $U_{вх_1}$ и противоположен знаку входного напряжения $U_{вх_2}$. В общем случае

$$U_{вых} = (U_{вх_1} - U_{вх_2})K_р + \frac{U_{вх_1} + U_{вх_2}}{2}K_с,$$

где $K_р$ — коэфф. усиления разности входных напряжений, а $K_с$ — коэфф. усиления ср. значения входных напряжений. В идеальном случае при идентичных лампах и полной симметрии схемы ($R_{а_1} = R_{а_2} = R_а$) $K_с = 0$. Для уменьшения погрешности сопротивление $R_к$ выбирается возможно большим, с соответствующим увеличением отрицат. напряжения. При этом $K_р = \mu R_а/2(R_i + R_а)$, где R_i — внутр. сопротивление ламп $Л_1$ и $Л_2$, а μ — среднее значение их коэфф. усиления. Возможно также получение выходного напряжения между анодами ламп $Л_1$ и $Л_2$ ($U'_{вых}$ на рис.). В этом случае $K'_р = \mu R_а/(R_i + R_а)$. Главной причиной погрешностей У. д. является разброс параметров ламп; погрешности характеризуются величиной $q = K_с/K_р$. Значения q в отношении $U_{вых}$ и $U'_{вых}$ (при $R_к \to \infty$) равны соответственно



$$q \approx \frac{1}{2}\left(\frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu}\right)^2 \text{ и } q' \approx \frac{\mu_1 - \mu_2}{\mu^2},$$

где μ_1 и μ_2 — коэфф. усиления ламп $Л_1$ и $Л_2$, а μ — их среднее значение.

Лит.: Эрглис К. Э., Степаненко И. П., Электронные усилители, М., 1961; Коган Б. Я., Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования, 2 изд., М., 1963.

И. М. Коган.

УСИЛИТЕЛЬ ИЗБИРАТЕЛЬНЫЙ (selective amplifier; amplificateur sélectif; Selektivverstärker) — см. *Усилитель резонансный.*

УСИЛИТЕЛЬ ИМПУЛЬСОВ (Pulse amplifier; amplificateur d'impulsions; Impulsverstärker) — см. *Усилитель широкополосный, Усилитель видеоимпульсов, Усилитель апериодический.*

УСИЛИТЕЛЬ КАСКОДНЫЙ (cascode amplifier; amplificateur en cascode; Kaskodenverstärker) — усилитель, содержащий два активных элемента, включенных т. о., что один из них является нагрузкой для другого; применяется в устройствах радиоэлектроники и автоматики в случаях, когда требуется устойчивое усиление при малом уровне шумов и большом входном сопротивлении. Наиболее распространен У. к. на триодах (или транзисторах), представляющий сочетание каскада с общим катодом (с общим эмиттером) и каскада с общей сеткой (с общей базой). В таком триодном У. к. лампы включены так, что через них протекает одна и та же переменная составляющая анодных токов; по постоянному току обе лампы могут включаться последовательно (рис. 1) или параллельно (рис. 2). Аналогично образуется У. к. на транзисторах. Эта схема сочетает достоинства усилителя с общей сеткой (большая величина устойчивого усиления) и усилителя с общим катодом (большое входное сопротивление), не имея их недостатков (исключаются наличие малого входного

сопротивления, имеющее место в усилителе с общей сеткой, и необходимость применения пентода для получения большого устойчивого усиления, требующегося в схеме с общим катодом), что создает возможность применения триодов, имеющих по сравнению

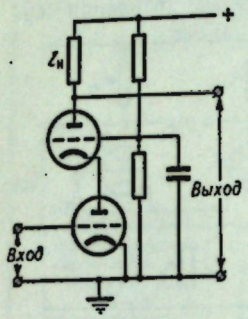


Рис. 1.

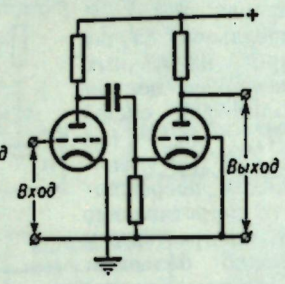


Рис. 2.

с пентодами малый уровень шумов. Недостатки У. к.: специфич. требования к лампам и более сложная регулировка. Усилит. свойства У. к. на триодах аналогичны свойствам усилителей на пентодах. Эквивалентные статич. параметры У.к. на двух одинаковых триодах, имеющих коэфф. усиления μ, внутр. сопротивление R_i и крутизну S, равны: $\mu_э \cong \mu^2$, $R_{iэ} \cong R_i\mu$, $S_э \cong S$. Коэфф. усиления резонансного У. к., нагруженного на контур с эквивалентным сопротивлением R_{oe} (обычно $R_{oe} \ll R_{iэ}$) $K \cong SR_{oe}$; при сопротивлении нагрузки $R_н > R_{iэ}$ коэфф. усиления НЧ У.к. $K \cong \mu_э \cong \mu^2$, причем входная емкость У. к. $C_{вх} = 2C_{ac}$, где C_{ac} — междуэлектродная емкость анод-сетка [в триодном усилителе с общим катодом $C_{вх} = C_{ac}(1+K)$]. Устойчивый коэффициент усиления У. к. $K \leqslant \sqrt{0{,}4S\mu/\omega C_{ac}}$ (в триодном усилителе с общим катодом $K \leqslant \sqrt{0{,}25\,S/\omega C_{ac}}$).

Шумовые свойства У. к. определяются его входной лампой или ПП триодом. Широкое применение У. к. находят во входных каскадах спец. радиоприемников с малым уровнем собственных шумов, в *усилителях широкополосных* ВЧ, в микрофонных усилителях и др. У. к. применяются также в качестве *усилителей постоянного тока* с большим усилением, в точных электронных интеграторах, в качестве дифференциальных усилителей и в др. элементах автоматики и вычислит. техники. Видоизменения У. к. образуют катодные повторители с повышенной линейностью, импульсные катодные повторители для передачи импульсов обеих полярностей и др. схемы.

Лит.: Ложников А. П., Сонин Е. К., Каскодные усилители, М.—Л., 1961; Куликовский А. А., Линейные каскады радиоприемников, М.—Л., 1958.
И. М. Коган.

УСИЛИТЕЛЬ ЛАМПОВЫЙ [valve amplifier; amplificateur à tubes électroniques (électronique), amplificateur à lampes; Röhrenverstärker] — устройство, применяемое в автоматике и радиоэлектронике для усиления напряжения или мощности сигналов с коэфф. усиления от единиц до неск. млн., состоящее из электронных ламп и пассивных элементов. Осн. параметрами У. л. являются коэфф. усиления, амплитудно-частотная хар-ка и фазочастотная хар-ка. По виду частотной хар-ки У. л. подразделяются на: *усилители постоянного тока* с полосой пропускания, начинающейся с нулевой частоты (постоянного тока); *усилители низкой частоты* с полосой пропускания, включающей частоты от десятков *гц* до единиц — десятков *кгц*; усилители импульсов с широкой полосой пропускания от десятков *кгц* до десятков *Мгц* (см. *Усилитель широкополосный*); *усилители промежуточной частоты* с избирательной (узкополосной) частотной хар-кой на частотах от сотен *кгц* до десятков *Мгц*; *усилители высокой частоты* с избират. (узкополосной) частотной хар-кой на частотах от сотен *кгц* до сотен и тысяч *Мгц*.

Лит.: Войшвилло Г. В., Усилители низкой частоты на электронных лампах, 2 изд., М., 1963; Сифоров В. И., Радиоприемные устройства, 5 изд., М., 1954; Куликовский А. А., Линейные каскады радиоприемников, М.—Л., 1958.
И. М. Коган.

УСИЛИТЕЛЬ ЛОГАРИФМИЧЕСКИЙ (logarithmic amplifier; amplificateur logarithmique; logarithmischer Verstärker) — усилитель, у к-рого выходное напряжение пропорционально логарифму входного напряжения. Применяется в системах, работающих при большом динамич. диапазоне изменения уровня входных сигналов, напр. в приемниках радиолокац. станций, пеленгующих системах, системах автоматич. самонаведения, измерит. усилителях. Получение логарифмич. амплитудной хар-ки основано на уменьшении коэфф. усиления усилителя при увеличении входного напряжения. Уравнение амплитудной хар-ки У. л. имеет вид:

$$U_{вых} = K_1^n U_{вхн}\left(a \ln \frac{U_{вх}}{U_{вхн}} + 1\right),$$

где $U_{вых}$ — амплитуда выходного напряжения, $U_{вх}$ — амплитуда входного напряжения, $U_{вхн}$ — амплитуда входного напряжения, при к-ром начинается логарифмич. участок амплитудной хар-ки, K_1 — коэфф. усиления каскада У. л. на линейном участке амплитудной хар-ки (при $U_{вх} < U_{вхн}$); n — количество каскадов У. л.; a — постоянная, определяющая крутизну амплитудной хар-ки. Изменение коэфф. усиления в зависимости от входного напряжения может достигаться след. методами: 1) АРУ с применением ламп (транзисторов) с перем. крутизной; позволяет построить У. л. с обратной связью по цепи АРУ, когда регулирующее напряжение подается с последующих каскадов на предыдущие, и без обратной связи, когда регулирующее напряжение подается с предыдущих каскадов на последующие. 2) Последовательным включением неск. каскадов, амплитудные хар-ки к-рых имеют логарифмич. участки. Параметры каскадов выбираются т. о., чтобы окончание логарифмич. участка амплитудной хар-ки последующего каскада соответствовало такому входному напряжению на входе У. л., при к-ром начинается логарифмич. участок амплитудной хар-ки предыдущего каскада. 3) Сложением выходных напряжений неск. каскадов, амплитудные хар-ки к-рых имеют насыщение. По мере увеличения входного напряжения ближайшие к выходу каскады У. л. переходят в режим насыщения, их усиление резко уменьшается и суммарное напряжение на выходе У. л. увеличивается приблизительно пропорционально логарифму входного напряжения. 4) Шунтированием анодной нагрузки каскадов У. л. нелинейным элементом (напр., полупроводниковыми диодами), сопротивление к-рого уменьшается с увеличением напряжения. 5) Применением нелинейной отрицат. обратной связи по току (сопротивление

нелинейного элемента должно увеличиваться при увеличении напряжения). 6) Применением нелинейной отрицат. обратной связи по напряжению (сопротивление нелинейного элемента должно уменьшаться при увеличении напряжения). 7) Использованием экспоненциальной зависимости тока от напряжения у нелинейных элементов (напряжение, снимаемое с такого нелинейного элемента, включенного последовательно с активным сопротивлением, пропорционально логарифму входного напряжения). Этот же метод может быть использован в У. л. со сложением выходных напряжений неск. каскадов.

У. л. может быть как *усилителем апериодическим* (усилителем гармонич. напряжений НЧ, усилителем импульсов, *усилителем постоянного тока*), так и избирательным. Наиболее простым является однокаскадный У. л., в к-ром используется экспоненциальная хар-ка нелинейного элемента или применяется шунтирование анодной нагрузки нелинейным элементом. Динамич. диапазон такого У. л. составляет 20—40 *дб*. Динамич. диапазон многокаскадных У. л. достигает 100—110 *дб* (в спец. измерит. усилителях — до 160 *дб*) при точности логарифмич. амплитудной хар-ки порядка 2—3%. Ввиду явно выраженного нелинейного характера У. л. в нем имеют место сравнительно большие искажения при усилении импульсов, проявляющиеся, напр., в спаде плоской вершины импульсов и появлении большого обратного выброса на заднем фронте. Многокаскадные У. л. требуют тщат. регулировки, высокой степени идентичности каскадов и нелинейных элементов, удовлетворяющих спец. требованиям, главными из к-рых являются идентичность хар-к элементов в разных каскадах, их стабильность, малые входные емкости (особенно в широкополосных У. л.), резкое изменение сопротивления при изменении напряжения. Типичными схемами использования нелинейных элементов в У. л. являются нелинейные делители (совместно с активными сопротивлениями), включение в цепь катода (по переменной составляющей), включение параллельно анодной нагрузке, АРУ по управляющим или пентодным сеткам; при этом детектирование с целью получения управляющего напряжения может осуществляться нелинейными элементами по схемам диодного, сеточного, анодного или катодного детектирования.

Лит.: Волков В. М., Логарифмические усилители, Киев, 1962.
И. М. Коган.

УСИЛИТЕЛЬ МАГНИТНЫЙ (magnetic amplifier; amplificateur magnétique; Magnetverstärker) —электромагнитный аппарат, предназначенный для управления относительно большой мощностью перем. тока посредством малой мощности пост. тока (или перем. тока др. частоты). Изготовляется мощностью от долей до сотен *квт*. Применяется в электрич. схемах контроля, автоматич. регулирования, в вычислит. машинах и др. Подробнее см. *Магнитный усилитель*.

УСИЛИТЕЛЬ МЕХАНИЧЕСКИЙ — см. *Механический усилитель мощности*.

УСИЛИТЕЛЬ МОЛЕКУЛЯРНЫЙ (molecular amplifier; amplificateur moléculaire; Molekularverstärker) — см. *Квантовая система, Лазер, Мазер*.

УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ (power amplifier; amplificateur de puissance; Leistungsverstärker) — устройство, обеспечивающее на определ. внешней нагрузке усиленные колебания заданной мощности. Особенность У.м. — способность обеспечить достаточно большой уровень напряжения на сравнительно низкоомной нагрузке, т. е. создать значит. мощность сигнала на выходе, что необходимо для работы динамич. громкоговорителей, срабатывания реле, возбуждения антенны и в др. подобных оконечных радиотехнич. устройствах. В режиме усиления мощности обычно работают выходные каскады усилит. трактов НЧ радиоприемников, радиостудий, радиотрансляц. узлов, аппаратуры пром. автоматики и электроники, телемеханики, телеуправления и т. п. У. м. ВЧ — составная часть генераторов с независимым возбуждением в радиопередатчиках различного назначения. При очень высокой выходной мощности оконечный каскад усилит. тракта обычно работает в режиме с токами сетки электронной лампы и потребляет значит. мощность по сеточной цепи. Поэтому предоконечный каскад такого тракта также должен работать как У. м. В зависимости от требуемой мощности оконечные У. м. могут иметь одну лампу, две лампы, включенные параллельно или двухтактно, или неск. ламп, включенных параллельно или двухтактно с неск. параллельно включенными лампами в каждом плече. Для согласования внешней нагрузки с внутр. сопротивлением электронной лампы (что является обязат. условием для отдачи каскадом макс. мощности в нагрузку) У. м. выполняется в виде *усилителя на трансформаторах* (НЧ или ВЧ) либо в виде катодного или эмиттерного повторителя. Схемы, конструкция и расчет каскадов У. м. этих типов значительно отличаются друг от друга.

При мощностях, не превышающих 3—6 *вт*, У. м. строится по однотактной схеме и работает в режиме класса *A* на прямолинейной части хар-ки без сеточных токов (см. *Классы усиления*). При бо́льших мощностях У. м. имеют, как правило, двухтактную схему. При мощностях порядка 20—100 *вт* они работают в классе *B* с отсечкой анодного тока без сеточных токов; при еще бо́льших мощностях — в классе B_2 с отсечкой анодного тока и с сеточным током. Макс. выходная мощность однотактного каскада на триоде в классе *A* при оптим. сопротивлении нагрузки $R_н = 2R_i$ (R_i — внутр. сопротивление лампы) $P_{макс} \approx \approx E_a^2/16\ R_i$, а кпд $\eta \approx {}^1/_2\xi$, где $\xi = U_a/E_a$ — коэфф. использования анодного напряжения, U_a — амплитуда колебат. напряжения на анодном контуре, E_a — напряжение анодного источника питания. При применении триодов кпд не превышает 15—20%, для экранированных ламп кпд 30—40%. Нелинейные искажения в классе *A* малы. В двухтактном каскаде в классе *B* кпд подсчитывается по ф-ле $\eta = \pi\xi/4$ и при $\xi = 0{,}9$ он может достигать 70% (в двухтактном каскаде в классе *A* кпд не может превышать 50%); нелинейные искажения при этом могут не превышать 3—7%. В классе B_2 примерно те же энергетич. показатели могут быть получены при значительно более низком анодном напряжении, но ввиду наличия сеточных токов требуется сравнительно мощный предоконечный каскад. Нелинейные искажения в классе B_2 достигают 5—10% и более; однако при введении глубоких

отрицат. обратных связей они могут быть значительно уменьшены.

Типовые режимы У. м. НЧ приводятся обычно в спец. таблицах, помещаемых в справочниках по радиотехнике.

Совершенствование У. м. гл. обр. направлено на получение больших мощностей (в особенности в ПП У. м.) при высоких кпд и малых нелинейных искажениях.

Лит.: Войшвилло Г. В., Усилители низкой частоты на электронных лампах, 2 изд., М., 1963; Гинкин Г. Г., Справочник по радиотехнике, 4 изд., М.—Л., 1948; Цыкин Г. С., Электронные усилители, 2 изд., М., 1963.

И. М. Коган, Ю. Б. Любченко.

УСИЛИТЕЛЬ НА ДРОССЕЛЯХ (choke-coupled amplifier; amplificateur à bobines de self; Drosselverstärker) — усилитель, в каскадах к-рого анодной нагрузкой лампы является дроссель с железным сердечником. У. на д. является *усилителем апериодическим*; может быть применен в качестве усилителя НЧ напряжения. Ввиду того, что активное сопротивление дросселя $Др$ в У. на д. (см. рис.) ве-

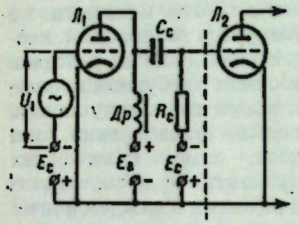


Схема усилителя низкой частоты с дросселем: $Л_1$, $Л_2$ — электронные лампы; U_1 — входное (усиливаемое) напряжение; E_C — источник отрицат. напряжения на сетке (смещение); E_a — источник анодного напряжения; $Др$ — дроссель; C_C — разделит. конденсатор; R_C — сопротивление.

велико, на анод лампы $Л_1$ поступает почти все напряжение от источника анодного напряжения E_a. Поэтому У. на д. при том же анодном напряжении может обеспечить большее усиление, чем *усилитель на сопротивлениях*, что и составляет его основное преимущество. Коэфф. усиления каскада У. на д. на ср. частотах полосы пропускания может быть рассчитан по ф-ле:

$$k_{ср}=S\frac{R_iR_c}{R_i+R_c}, \qquad (1)$$

где R_i — внутр. сопротивление лампы, R_c — сопротивление утечки сетки следующей лампы, S — крутизна хар-ки лампы. Для обеспечения заданной нижней частоты полосы пропускания $\omega_н$ и допустимого коэфф. частотных искажений $M_н$ на $\omega_н$ индуктивность дросселя $L_{др}$ должна быть определена по ф-ле:

$$L_{др}=\frac{R_i}{\omega_н}\cdot\frac{1}{\sqrt{M_н^2-1}-\frac{1}{\omega_н C_c R_c}}, \qquad (2)$$

где C_c — емкость, составляющая обычно 0,1—0,5 *мкмкф*. Величина R_c, определяющая верхнюю границу полосы пропускания, рассчитывается по ф-ле:

$$\frac{1}{R_c}\geqslant\frac{\omega_в C}{\sqrt{M_в^2-1}}-\frac{1}{R_i}, \qquad (3)$$

где $C=\frac{C_{вх}C_{др}}{C_{вх}+C_{др}}$, $C_{др}$ — распределенная емкость обмотки дросселя, $C_{вх}$ — входная емкость лампы $Л_2$, $M_в$ — коэфф. частотных искажений на верхней частоте $\omega_в$ полосы пропускания У. на д. Обычно величина R_c составляет 10^5—10^6 *ом*. Недостатками У. на д. являются большая неравномерность *амплитудной частотной характеристики* в диапазоне частот вследствие зависимости реактивного сопротивления дросселя $X_{др}=L_{др}\omega$ от частоты, а также значительно более высокая стоимость из-за сложности изготовления самого дросселя с малой собств. емкостью обмотки $C_{др}$. С появлением ламп с большой крутизной преимущество У. на д. потеряло свое значение и поэтому в настоящее время они не находят практического применения.

Лит.: Войшвилло Г. В., Усилители низкой частоты на электронных лампах, 2 изд., М., 1963.

Ю. Б. Любченко.

УСИЛИТЕЛЬ НА СОПРОТИВЛЕНИЯХ, усилитель реостатный, резистивный (resistance-coupled amplifier, resistance amplifier; amplificateur à résistances; Widerstandsverstärker), — усилитель на электронных лампах или полупроводниковых приборах, в к-ром нагрузками каскадов являются активные сопротивления. У. на с. — основной вид усилителя напряжения в системах радиоэлектроники, автоматики, телемеханики, измерит. техники. Достоинства У. на с.: простота конструкции, незначит. частотные и фазовые искажения, нечувствительность к воздействию перем. магнитного поля. Осн. недостатки: относительно небольшая величина коэфф. усиления и сравнительно низкое неискаженное выходное напряжение. Наиболее распространенная схема каскада У. на с. на электронных лампах — схема с общим катодом (рис. 1), дающая наи-

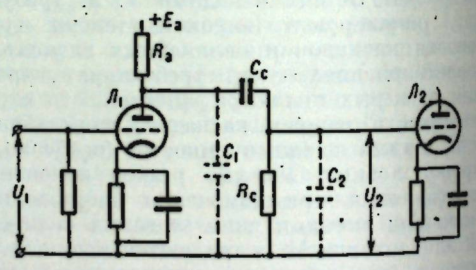


Рис. 1.

большее усиление при большом входном сопротивлении. Эквивалентная схема У. на с. представлена на рис. 2, где C_1 и C_2 — выходная емкость предыдущего каскада и входная емкость последующего, μ — потенциальный коэфф. усиления лампы, R_i — ее внутр. сопротивление. Обычно емкости C_1 и C_2 не превосходят 10—200 *пф*, в то время как C_c обычно не менее 5000 *пф*. Это позволяет упростить эквивалентную схему У. на с. (рис. 2) при работе в различных областях частотного диапазона.

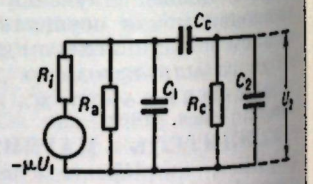


Рис. 2.

На ср. частотах влиянием всех емкостей можно пренебречь, и сопротивления R_a и R_c оказываются соединенными в параллель. Тогда коэфф. усиления $K=U_2/U_1$ равен $K_0=\mu/(1+R_i/R_a+R_i/R_c)$. На частоте «квазирезонанса» $f_0=(1/2\pi)\sqrt{(1+R_i/R_a)/(C_1+C_2)R_iC_cR_c}$ фазовый сдвиг в У. на с. будет составлять 180°. В области НЧ можно пренебречь шунтирующими емкостями C_1 и C_2, и коэфф. усиления на частоте $\omega_н$ равен $K_н=K_0/\sqrt{1+(1/\omega_нC_cR_c)^2}$;

фазовый сдвиг У. на с. при уменьшении частоты стремится к 270°. В области верхних частот можно пренебречь влиянием разделит. емкости C_c, и коэфф. усиления на частоте $\omega_в$ равен $K_в=K_0/\sqrt{1+(\omega_вC_0R_{i\,ac})^2}$, где $R_{i\,ac}=1/(1/R_i+1/R_a+1/R_c)$, $C_0=C_1+C_2$; фазовый сдвиг У. на с. при увеличении частоты стремится к 90°. При усилении импульсных напряжений частотные искажения (уменьшение усиления) в области НЧ приводят к относит. спаду вершины импульса длительностью $t_и$: $\Delta\cong t_и/C_cR_c$; частотные искажения в области ВЧ уменьшают крутизну фронта импульса, время установления к-рого (от 0,1 до 0,9 от величины импульса) равно $t_у=2{,}2R_{i\,ac}(C_1+C_2)$. Кроме У. на с. с общим катодом, применяются каскады с общим анодом (катодные повторители), у к-рых нагрузка включена в цепь катода. Коэфф. усиления таких каскадов меньше единицы; применяются они в целях согласования, т. к. обладают большим входным и малым выходным сопротивлениями.

В У. на с. на транзисторах наибольшее применение получили каскады с общим эмиттером (рис. 3), свойства к-рых аналогичны свойствам ламповых каскадов с общим катодом. Приближенный расчет У. на с. на транзисторах может вестись с помощью параметров и хар-к, аналогичных электронным лампам. В частности, коэфф. усиления каскада У. на с. на транзисторах в диапазоне ср. частот $K_0=S_кR_н/(1+R_н/R_{iк})$, где $S_к$ — крутизна хар-ки тока коллектора в зависимости от напряжения между базой и эмиттером при постоянном напряжении между коллектором и эмиттером, $R_{iк}$ — внутр. сопротивление цепи коллектора при постоянном напряжении между базой и эмиттером. Особенностью У. на с. на транзисторах является необходимость стабилизации в диапазоне темп-р; для этого схема питания должна обеспечить постоянство обратного тока коллектора $I_{ко}$, что достигается подбором сопротивлений, задающих начальные напряжения и токи на электродах транзистора (рис. 3). Широкое применение получили каскады У. на с. на транзисторах с общим коллектором (эмиттерные повторители) с нагрузкой в цепи эмиттера, свойства и назначение к-рых аналогичны свойствам лампового катодного повторителя. Реальные значения коэфф. усиления одного каскада У. на с. в диапазоне звуковых частот достигает 100; макс. неискаженное напряжение — примерно 20% от напряжения источника анодного (коллекторного) напряжения.

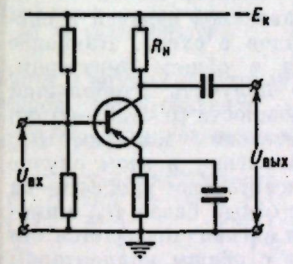


Рис. 3.

Совершенствование У. на с. связано гл. обр. с повышением стабильности в широком диапазоне темп-р и разработке методов расчета усилителей на транзисторах.

Лит.: Войшвилло Г. В., Усилители низкой частоты на электронных лампах, 2 изд., М., 1963; Цыкин Г. С., Электронные усилители, 2 изд., М., 1963; Иноземцев Н. М., Найвельт Р. С., Усилители и источники питания на транзисторах, М., 1960.

И. М. Коган.

УСИЛИТЕЛЬ НА ТРАНЗИСТОРАХ (transistor amplifier; amplificateur à transistors; Transistorverstärker) — усилитель, в к-ром в качестве активного элемента применяются транзисторы. Аналогично ламповым усилителям У. на т. делятся по способу включения активных элементов на три осн. типа: с общим эмиттером (рис. 1, *а*), с общей

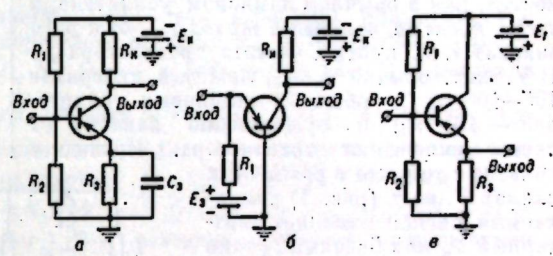


Рис. 1. Принципиальные схемы одноступенных усилителей на транзисторах: *а* — с общим эмиттером; *б* — с общей базой; *в* — с общим коллектором.

базой (рис. 1, *б*) и с общим коллектором (*эмиттерный повторитель*, рис. 1, *в*). У. на т. имеет те же осн. хар-ки, что и ламповый усилитель: коэфф. усиления $K_{ус}$, частотные, фазовые и амплитудные хар-ки, входное $R_{вх}$ и выходное $R_{вых}$ сопротивления, стабильность, устойчивость и шумфактор. Однако совершенно отличный от электронных ламп механизм передачи тока в транзисторах вносит в анализ и расчет У. на т. свои особенности:

1) между входными и выходными цепями транзистора (рис. 1, *б*) имеется внутр. *обратная связь* по пост. току за счет распредел. сопротивления базового слоя $r_б$. Поэтому эквивалентная схема У. на т. сложнее, чем для электронной лампы (рис. 2). Кроме того, т. к. базовые и коллекторные статич. хар-ки транзистора взаимосвязаны, то при расчете У. на т. необходимо знание двух семейств хар-к — базовых (аналог сеточной хар-ки) и коллектор-

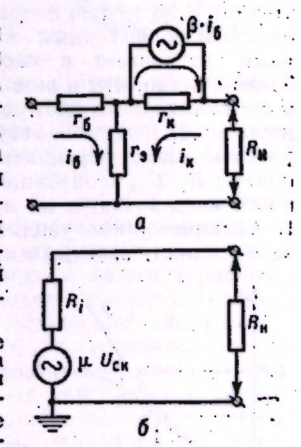


Рис. 2. Эквивалентные схемы: *а* — усилителя на транзисторах с общим эмиттером ($r_б$ — распределенное сопротивление базы, $r_э$ — сопротивление эмиттерного перехода, $r_к$ — сопротивление коллекторного перехода, β — коэфф. усиления по току, $R_н$ — сопротивление нагрузки); *б* — усилителя на лампах с общим катодом (R_i — внутр. сопротивление лампы, μ — коэфф. усиления лампы, $U_{ск}$ — напряжение между сеткой и катодом лампы).

ных (аналог анодных хар-к), в то время как для расчета лампового усилителя достаточно знать только анодные хар-ки лампы.

2) Так как у У. на т. $R_{вх}$ мало (обычно 10^2—10^3 *ом* и ниже), то от источника перем. сигнала на входе всегда потребляется значит. мощность, в виду чего самая важная хар-ка У. на т. — коэфф. усиления по мощности (а не по напряжению). Задание рабочего режима входной цепи здесь удобнее осуществлять по току (через сопротивление R_1, рис. 1, а не по напряжению).

3) Передача (усиление) тока транзисторами либо полностью, либо частично связана с процессом диффузии; поэтому верхнюю граничную частоту усиливаемого сигнала $f_в$ в У. на т., как правило, определяет не величина паразитных емкостей и паразитных индуктивностей, как в обычном ламповом усилителе, а *время пролета носителей заряда* $\tau_{пр}$, от к-рого зависит т. н. критич. частота транзистора $f_т$. В У. на т. обычно $f_в \leqslant f_т$, лежит в интервале 10^6—10^8 *гц* ($f_в$ обычных ламповых усилителей — 10^9 *гц*) и существенно зависит от схемы включения транзистора. Последнее связано с тем, что в различных схемах У. на т. (рис. 1) усиливаемый сигнал изменяет эмиттерный $I_э$ или базовый $I_б$ токи транзистора, обусловленные различными носителями (основными или неосновными). Напр., в случае транзистора типа p — n — p в У. на т. с общей базой приходящий сигнал изменяет эмиттерный ток, т. е. количество дырок (неосновных носителей), инжектируемых в базовую область. В У. на т. с общим эмиттером усиливаемый сигнал изменяет ток базы $I_б$, обусловленный гл. обр. процессом рекомбинации.

4) Конечное время движения носителей в базе обусловливает значительное запаздывание сигнала при передаче его через У. на т. В одноступенном реостатном У. на т. сдвиг фаз между входным и выходным сигналами возрастает с частотой более сильно, чем в ламповом, и не стремится к пост. значению (рис. 3). В ламповой ступени фазовый сдвиг обусловлен цепочкой $R_н C_{эк}$ (сопротивление нагрузки и емкость анод-катод) и не может превышать 90°. В транзисторном усилителе фазовый сдвиг за счет пост. запаздывания монотонно растет с частотой. Существенное различие между фазовыми хар-ками ламповых усилителей и У. на т. наблюдается для частот $\geqslant f_т$.

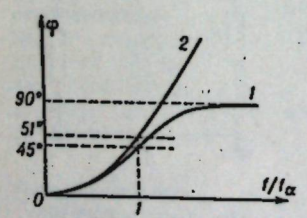


Рис. 3. Фазовые хар-ки одноступенных реостатных усилителей: *1* — на лампах; *2* — на транзисторах.

5) Добротность реостатного У. на т. с общим эмиттером (произведение коэфф усиления по напряжению K на ширину полосы пропускания Δf) при малом $R_н$ определяется формулой: $K\Delta f = R_н f_т/(R_с + r_б + r_э)$; при $R_н = R_с + r_б + r_э$, $K\Delta f \approx f_т$. Если $R_н$ велико, то $C_к \gg 1/2\pi f_т$ ($C_к$ — емкость коллекторного p — n-перехода), то добротность У. на т. находится по ф-ле, аналогичной ф-ле для лампового усилителя:

$$K_u \Delta f = 1/2\pi C_к (r_б + r_э) = \begin{cases} 1/2\pi r_э = S/2\pi C_к, & r_б \ll r_э \\ 1/2\pi C_к r_б, & r_б \gg r_э, \end{cases}$$

где S — крутизна транзистора.

6) Большая температурная зависимость электропроводности полупроводников ограничивает интервал рабочих темп-р У. на т. и вызывает необходимость применения схем температурной стабилизации рабочей точки транзистора. Температурная стабилизация рабочей точки в схемах с общим эмиттером осуществляется тремя сопротивлениями R_1, R_2 и $R_э$ (рис. 1, *а*), величины к-рых зависят от величины допустимого дрейфа рабочей точки в заданном интервале темп-р.

7) Применение двух типов транзисторов (n — p — n и p — n — p) упрощает составление схем многоступенных У. на т. (рис. 4). Применение того или иного типа У. на т.

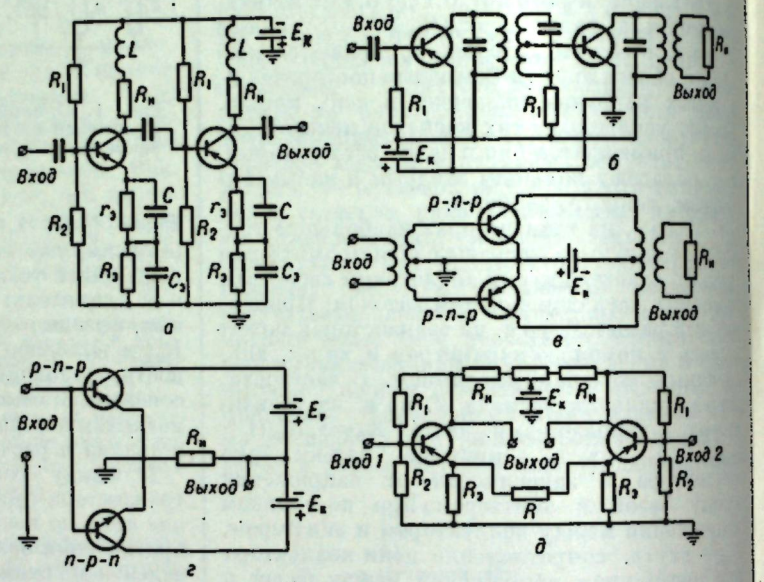


Рис. 4. Принципиальные схемы многоступенных усилителей на транзисторах: *а* — широкополосного с индуктивной коррекцией и отрицат. обратной связью; *б* — полосового с трансформаторной связью; *в* — мощного двухтактного класса *Б* с тр-рами и транзисторами одного типа; *г* — двухтактного класса *В* без тр-ра с транзисторами разных типов; *д* — балансного постоянного тока.

обусловливается поставленной задачей и специфич. работой каскадов в схеме. Наиболее распространена схема с общим эмиттером, т. к. она позволяет получить наибольший коэфф. усиления по мощности ($\beta \approx 30$—40 *дб*) и обладает сравнительно высоким $R_{вх}$ ($\approx 10^3$ *ом*). Выходной сигнал в этом случае сдвинут по фазе относительно входного на угол π. В схеме же с общей базой $R_{вх}$ минимально (10—10^2 *ом*) и сигнал передается без сдвига фазы. В схеме с общим коллектором (эмиттерный повторитель) коэфф. усиления по напряжению < 1, сдвиг фаз также не имеет места, а $R_{пх}$ наибольшее. Применяются У. на т. в каскодном включении (см. *Усилитель каскодный*). У. на т. могут быть выполнены как в виде усилителей пост. тока (рис. 4, *д*), так и полосовых резонансных и апериодич. усилителей. Для коррекции частотной хар-ки и стабилизации коэфф. усиления в У. на т. применяют те же методы, что и в ламповом усилителе (см. *Амплитудно-частотная коррекция*).

Выходная мощность в У. на т. в зависимости от частоты колеблется в пределах от сотен *мвт* до неск. десятков *мвт*. Минимально реализуемое значение шумфактора 8—12 *дб*.

Осн. преимущества У. на т.: малый вес и габариты; малая потребляемая мощность и высокая надежность (срок службы транзисторов во много раз больше, чем электронных ламп); «мгновенная» готовность к действию после включения питающего напряжения (отсутствие тепловой инерции нити накала). Применение У. на т. наиболее перспективно в звуковом, радиовещат. и частично УКВ диапазонах.

Лит.: 1) Эрглис К. Э., Степаненко И. П., Электронные усилители, М., 1961; 2) Шиф Р. Ф., Усилители звуковой частоты на полупроводниковых триодах, пер. с англ., М., 1957; 3) Шварц С., Полупроводниковые схемы. Справочник, пер. с англ., М., 1962.

УСИЛИТЕЛЬ НА ТРАНСФОРМАТОРАХ (transformer-coupled amplifier; amplificateur à transformateurs; Transformatorverstärker) — усилитель на электронных лампах или полупроводниковых приборах, в к-ром нагрузка включается через трансформатор. У. на т. являются осн. видом усилителей мощности в устройствах радиоэлектроники, автоматики, телемеханики. Применяется также в качестве усилителя напряжения. Осн. достоинства У. на т.: возможность получения сравнительно большого коэфф. усиления в диапазоне НЧ (до нескольких сотен на каскад); возможность получения высокого неискаженного напряжения (до 70—80% от напряжения источника питания); симметричный выход. Осн. недостатки У. на т.: сложность конструкции, обусловленная наличием тр-ра; относительно большие частотные искажения; большие фазовые искажения на верхних частотах (фазовые сдвиги до 300—500°), обусловленные наличием распредел. параметров (емкости и индуктивности) и затрудняющие применение отрицат. обратной связи; чувствительность к воздействию переменных магнитных полей.

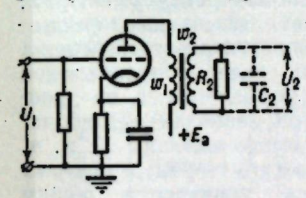


Рис. 1. Принципиальная схема усилительного каскада на трасформаторе.

На принципиальной и эквивалентной схеме тр-рного каскада на электронной лампе (рис. 1 и 2) μ и R_i — коэфф. усиления и внутр. сопротивление лампы; r_1 — активное сопротивление первичной обмотки, $r'_2 = r_2/n^2$ — приведенное активное сопротивление вторичной обмотки; L_{s_1} и $L'_{s_2} = L_{s_2}/n^2$ — индуктивность рассеяния первичной и приведенная индуктивность рассеяния вторичной обмотки; L_1 — индуктивность первичной обмотки; $C'_2 = C_2 n^2$ — приведенная емкость вторичной цепи, состоящая из емкостей вторичной обмотки, нагрузки и монтажа; $R'_2 = R_2/n^2$ — приведенное сопротивление нагрузки, где величины без штрихов означают фактич. значения параметров вторичной цепи, а $n = w_2/w_1$ — коэфф. трансформации, где w_2 и w_1 — число витков соответственно вторичной и первичной обмоток тр-ра. Частотная хар-ка У. на т. может иметь два резонанса. В области ср. частот влиянием индуктивностей рассеяния можно пренебречь, и на частоте $f_0 \cong 1/(2\pi n\sqrt{L_1 C_2})$ наступает первый резонанс паралл. контура $L_1 C'_2$. Вследствие низкой добротности контура $L_1 C'_2$ этот резонанс тупой. Коэфф. усиления У. на т. на ср. частотах $K_0 = \mu n/[1 + (R_i + r_1 + r'_2)/R'_2]$. В области верхних частот можно пренебречь влиянием индуктивности первичной обмотки L_1, а последоват. контур $L_s C'_2$ (здесь $L_s = L_{s_1} + L'_{s_2}$) дает 2-й резонанс на частоте $f_{II} = 1/(2\pi\sqrt{L_s C'_2})$. Максимум усиления в области высоких частот наблюдается на частоте $f_м = f_{II}\sqrt{1 - 1/2Q^2}$ и равен $K_м = K_0 Q/\sqrt{1 - 1/4Q^2}$, где $Q = \sqrt{L_s/C_2}/n\,(R_i + r_1 + r'_2)$. 2-й резонанс выражен сравнительно резко, вследствие чего на частоте $f_м$ имеется подъем частотной хар-ки, а частота f_{II} становится фактически верхней граничной частотой полосы пропускания У. на т. В области $f < f_0$ частотная хар-ка определяется сопротивлениями $(R_i + r_1)$ и индуктивностью L_1 и монотонно убывает. Нижняя граница полосы пропускания У. на т. на уровне $K = 0{,}707$ соответствует частоте $f_н = (R_i + r_1)/2\pi L_1$. Применение реостатно-трансформаторного каскада (рис. 3) позволяет расширить частотную хар-ку в области НЧ за счет последоват. резонанса разделит. емкости C_1 и индуктивности L_1; одновременно упрощается конструкция тр-ра из-за отсутствия постоянной составляющей анодного тока, протекающего через тр-р. Вместе с тем реостатно-трансформаторный каскад дает меньший коэфф. усиления и меньшее неискаженное выходное напряжение в результате падения пост. напряжения на сопротивлении и бо́льшие фазовые искажения, чем У. на т.

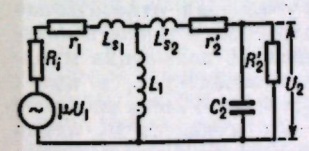


Рис. 2. Эквивалентная схема усилительного каскада на трансформаторе.

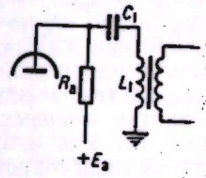


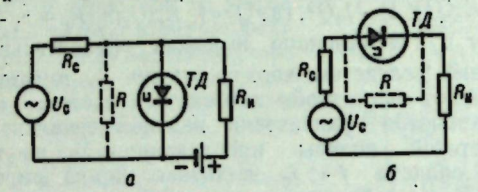
Рис. 3. Схема реостатно-трансформаторного каскада.

Широкое применение У. на т. в качестве усилителя мощности обусловлено возможностью согласования сопротивления нагрузки с выходным сопротивлением лампы (транзистора) путем выбора соответствующего коэфф. трансформации. При небольшой выходной мощности (до 3—6 *вт*) применяются однотактные У. на т., работающие в режиме класса *А*, в к-ром условием максимума неискаженной выходной мощности является равенство $R_н = 2R_i$ ($R_н$ — сопротивление анодной нагрузки), а кпд не превышает 25%. При мощностях, превышающих 5—10 *вт*, осн. видом усилителя мощности является двухтактный У. на т.: при мощностях до 10—20 *вт* работающий в классе *А* (кпд 15—40%); при мощностях до 20—100 *вт* работающий в классе B_1 (кпд 30—60%); при мощностях более 10—50 *вт* работающий в классе B_2 (кпд 50—70%) (см. *Классы усиления*).

Расчет усилителей мощности на триодах и экранированных лампах производится графически по семейству анодных хар-к. Осн. схема транзисторного У. на т. — схема с общим эмиттером и тр-ром, включенным в цепь коллектора. Осн. соотношения для У. на т. на транзисторах — те же, что и на ламповых триодах с заменой параметров и хар-к триода на соответствующие параметры и хар-ки транзистора.

Лит.: Цыкин Г. С., Электронные усилители, 2 изд., М., 1963; Войшвилло Г. В., Усилители низкой частоты на электронных лампах, 2 изд., М., 1963. *И. М. Коган.*

УСИЛИТЕЛЬ НА ТУННЕЛЬНОМ ДИОДЕ (tunnel diode amplifier; amplificateur à diode tunnel; Tunneldiodenverstärker) — усилитель электрич. сигналов, в к-ром в качестве активного элемента применяется туннельный диод, вследствие чего его вольтамперная хар-ка обладает падающим участком. Это позволяет при соответствующем выборе рабочей точки скомпенсировать потери, вносимые активными сопротивлениями нагрузки $R_н$ и генератора входного сигнала $R_с$ (рис.).



Эквивалентные схемы усилителей на туннельных диодах: *а* — параллельная схема; *б* — последовательная схема; *ТД* — туннельный диод.

Если *сопротивление отрицательное* (по модулю) диода R в рабочей точке больше сопротивления потерь системы, т. е. $R_с R_н/(R_с+R_н) < |R|$ для схемы на рисунке *а* и $R_с+R_н \leqslant |R|$ для схемы на рисунке *б*, то в сопротивлении $R_н$ выделяется мощность, существенно превышающая мощность в нем при отключенном (рис. *а*) или замкнутом накоротко (рис. *б*) диоде. Если сопротивление потерь $[R_с R_н/(R_с+R_н)$ или $R_с+R_н]$ равно $|R|$, то (теоретически) через $R_н$ потечет бесконечно большой ток, т. е. на нагрузке выделится бесконечно большая мощность, что соответствует самовозбуждению (генерации) схемы. Поэтому в У. на т. д. $R_н$ выбирают так, чтобы результирующее положит. сопротивление в цепи было несколько меньше отрицат. сопротивления диода в рабочей точке. Для устойчивости работы схемы в ней, конечно, должны соблюдаться нек-рые дополнит. соотношения.

У. на т. д. характеризуется т. н. коэффициентом вносимого усиления $K_{вн}$ — отношением мощностей в сопротивлении $R_н$ при включенном и отключенном диоде. $K_{вн}$ отличается от обычного коэфф. усиления $K_{ус}$ только тем, что при определении $K_{ус}$ за входную мощность принимается величина $U_с^2/4R_с$ (мощность на согласованной нагрузке), а при определении $K_{вн}$ — величина $U_с^2/(R_с+R_н)$. Величины $K_{вн}$ и $K_{ус}$ связаны соотношением $K_{ус}/K_{вн}=4R_с R_н/(R_с+R_н)^2$; если $R_с=R_н$, то $K_{ус}=K_{вн}$.

Обычно на туннельных диодах конструируют либо *усилители резонансные*, либо усилители полосовые. В этом случае параллельно диоду подключаются настроенные контуры (линии, резонаторы) соответствующего типа. У. на т. д. могут усиливать электрич. колебания до частот ~100 *Ггц* (λ=3 *мм*) с коэфф. усиления 20—40 *дб* и выходной мощностью от 10^{-3} до 10^{-6} *вт*. Реализуемый шумфактор 2—10 *дб*.

Недостатки У. на т. д.: 1) отсутствие раздельных выхода и входа, затрудняющее построение многоступенных схем. В диапазонах УКВ и СВЧ многоступенные усилители конструируются с помощью спец. направляющих и изолирующих устройств (циркуляторов и гибридных колец), к-рые для более низких частот неосуществимы и поэтому в радиовещат. диапазонах могут устраиваться лишь одноступенные У. на т. д.; 2) неустойчивость (самовозбуждение); величина паразитной индуктивности L в контуре, образованном диодом и эквивалентной нагрузкой, подключенной параллельно, должна удовлетворять условию $L<R^2C$, где C — емкость диода и схемы. При $|R|$=20 *ом* и C=10 *пф*, $L \leqslant 4 \cdot 10^{-9}$ *гн*. Поэтому для устойчивой работы У. на т. д. необходимо отбирать диоды с миним. собств. индуктивностью и обеспечивать безиндуктивное подключение нагрузки. В УКВ, СВЧ и миллиметровом диапазонах это требование определяет необходимое качество согласования диода с сопротивлениями генератора и нагрузки; 3) верхняя граничная частота усиливаемых сигналов должна быть примерно в 5—10 раз меньше предельной частоты диода.

Лит.: Воронцов Ю. И., Ржевкин К. С., Туннельные диоды в усилительных схемах (Обзор), «РиЭ», 1961, т. 6, № 11; Шварц С., Полупроводниковые схемы. Справочник, пер. с англ., М., 1962.

УСИЛИТЕЛЬ НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ (low-frequency amplifier; amplificateur à basse fréquence; Niederfrequenzvertstärker) — электронное устройство для усиления электрич. колебаний в диапазоне звуковых частот (от 10 *гц* до 20 *кгц*).

У. н. ч. подразделяются: по назначению — на усилители напряжения и усилители мощности; по виду нагрузки — на *усилители на сопротивлениях*, *усилители на трансформаторах*, *усилители на дросселях*. Осн. типами усилителей напряжения являются реостатный и на трансформаторах; осн. типами усилителей мощности — на трансформаторах и на дросселях (в предоконечных каскадах). Наибольшее распространение имеют каскады У. н. ч. с общим катодом (общим эмиттером), в нек-рых случаях применяются каскады с общим анодом (общим коллектором). По схеме каскады У. н. ч. могут быть однотактные (усилители напряжения и усилители мощности с выходной мощностью менее 5 *вт*) и двухтактные (усилители мощности с выходной мощностью более 5—10 *вт*). Все однотактные У. н. ч. работают в режиме класса *A* (см. *Классы усиления*). Двухтактные усилители относительно небольшой мощности работают также в классе *A*, при этом нелинейные искажения минимальны. При бо́льших мощностях, в целях увеличения кпд, двухтактные У. н. ч. работают в классах *AB*, B_1, B_2; в классе B_2 лампа используется наиболее полно, но нелинейные искажения наибольшие. Соврем. У. н. ч. имеют коэфф. усиления напряжения до десятков тысяч, выходную мощность до неск. *квт* при частотных искажениях и *клирфакторе* до неск. процентов. Совершенствование У. н. ч. заключается гл. обр. в уменьшении уровня всех видов искажений при больших выходных напряжениях и мощностях.

Лит.: Цыкин Г. С., Электронные усилители, 2 изд., М., 1963; Войшвилло Г. В., Усилители низкой частоты на электронных лампах, 2 изд., М., 1963. *И. М. Коган.*

УСИЛИТЕЛЬ ОДНОТАКТНЫЙ (amplifier; amplificateur à demi-onde; Eintaktverstärker) — см. *Усилитель мощности*.

УСИЛИТЕЛЬ ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ (parametric amplifier; amplificateur paramétrique; Parametrischerverstärker) — см. *Параметрический усилитель*.

УСИЛИТЕЛЬ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА (a. c. amplifier; amplificateur à courant alternatif; Wechselstromverstärker) — см. *Усилитель каскодный*, *Усилитель постоянного тока*.

УСИЛИТЕЛЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ [semiconductor amplifier; amplificateur à semi-conducteurs (à cristal); Halbleiterverstärker] — усилитель электрич. сигналов, в к-ром активным элементом является ПП. Различают У. п. на транзисторе, на туннельном диоде и на параметрическом диоде (см. *Усилитель на транзисторах*, *Усилитель на туннельном диоде*, *Параметрический усилитель*).

УСИЛИТЕЛЬ ПОСТОЯННОГО ТОКА (d. c. amplifier; amplificateur à courant continu; Gleichstromverstärker) — устройство для усиления пост. либо медленно меняющихся напряжений или токов; применяется в автоматике, телемеханике, измерит. технике, радиоэлектронике; используется также в качестве осн. элемента *операционного усилителя*, *усилителя электрометрического*. Наибольшее распространение получил У. п. т. на электронных лампах; в ряде случаев применяется У. п. т. на полупроводниковых приборах. По принципу работы делятся на У. п. т. прямого действия и на У. п. т. с преобразованием. В У. п. т. прямого действия осуществляется непосредств. усиление пост. либо медленно меняющегося напряжения. В У. п. т. с преобразованием усиливаемое пост. или медленно меняющееся напряжение e преобразуется в изменения амплитуды напряжения более высокой несущей частоты f_0, к-рое усиливается усилителем перем. напряжения, а затем подвергается демодуляции с целью выделения усиливаемого пост. напряжения (рис. 1).

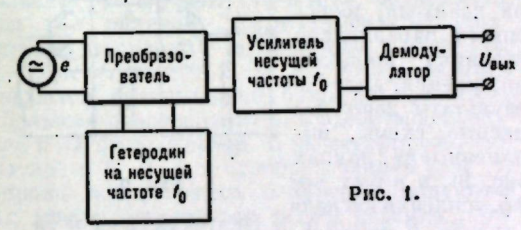


Рис. 1.

В простейшем однокаскадном У. п. т. прямого действия нагрузка включается непосредственно в цепь анодного тока; осн. недостатком такого У. п. т. является протекание через нагрузку сравнительно большого тока покоя лампы, на фоне к-рого затруднена регистрация малых изменений анодного тока, вызванных слабым входным сигналом. От этого недостатка свободны У. п. т., собранные по мостовой (наз. также уравновешенной) схеме (рис. 2). Начальный ток в нагрузке $R_н$ отсутствует при условии баланса моста, образованного сопротивлениями R_1, R_2, R_3 и внутр. сопротивлением лампы постоянному току R_i при отсутствии входного сигнала (U_1=0): $R_1/R_2=R_i/R_3$. При появлении входного сигнала $U_1 \neq 0$ внутр. сопротивление лампы меняется, баланс моста нарушается и на нагрузке появляется напряжение U_2. Коэфф. усиления такого У. п. т. $K=U_2/U_1=-\mu R_3/(R_i+R_3)$, где μ — потенц. коэфф. усиления лампы, а знак (—) учитывает полярность изменений напряжений.

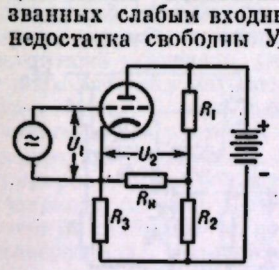


Рис. 2.

Для получения больших значений коэфф. усиления У. п. т. прямого действия выполняется как многокаскадное устройство с непосредств. (гальванич.) связью между каскадами. Для компенсации положительного пост. напряжения, поступающего с анода предыдущего каскада на сетку последующего, в цепь последней вводится отрицат. напряжение одним из 4 способов: 1) питание каскадов У. п. т. от отдельных источников (рис. 3).

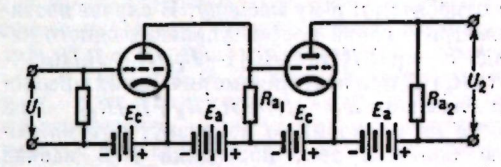


Рис. 3.

Недостаток этого способа — большая разность потенциалов между выходными и входными зажимами усилителя; 2) включение в цепи сеток источников компенсирующего напряжения $E_к$ (рис. 4). Осн. недостатком этого способа является необходимость неск. отдельных источников напряжения; 3) питание ламп от делителя напряжения (рис. 5). Недостаток этого способа — большое потребление мощности делителем, сопротивления к-рого должны быть небольшими для уменьшения

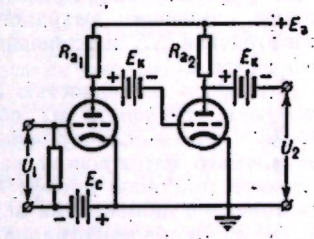


Рис. 4.

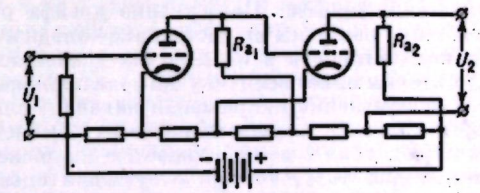


Рис. 5.

паразитных связей по цепям питания, а также большая разность потенциалов между выходными и входными зажимами усилителя; 4) потенциометрич. межкаскадная связь (рис. 6).

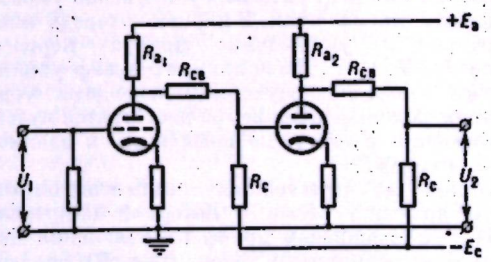


Рис. 6.

Достоинство этого способа — возможность применения только 2 источников напряжения для анодных ($E_а$) и для сеточных ($E_с$) цепей ламп. Недостаток — уменьшение усиления

из-за падения напряжения на сопротивлениях связи $R_{св}$. Для устранения этого недостатка вместо сопротивлений $R_{сп}$ целесообразно включать маломощные, потребляющие малый ток, неоновые лампы или стабилитроны, к-рые для пост. тока представляют сравнительно большое сопротивление, а для небольших изменений тока, вызванных сигналом, весьма малое.

Коэфф. усиления N-каскадного У. п. т. $K_N=(-1)^N\prod_{n=1}^{N}\mu_n R_{an}/(R_{i\,n}+R_{an})$, где индексы «$n$» относятся к n-му каскаду. В случае потенциометрич. связи коэфф. усиления одного каскада $K_1=\mu R_a/\{(R_i+R_a)[1+R_{св}/R_c+R_i/R_c(1+R_i/R_a)]\}$; при потенциометрич. связи с неоновой лампой $K_1=\mu/(1+R_i/R_a+R_i/R_c)$. При работе на низкоомную нагрузку, потребляющую большой ток, последний N-й каскад У. п. т. обычно представляет собой катодный повторитель; при этом крутизна всего усилителя $S_у=K_{N-1}S_{кп}$, где K_{N-1} — коэфф. усиления $(N-1)$ каскадов, предшествующих катодному повторителю, а крутизна катодного повторителя $S_{кп}=\Delta I_2/\Delta U_{кп}$ представляет собой отношение изменения выходного тока катодного повторителя ΔI_2 к изменению напряжения на его входе $\Delta U_{кп}$.

Специфич. особенностью У. п. т., вызывающей осн. трудности их создания, является дрейф нуля — самопроизвольное изменение начального напряжения на выходе У. п. т. Главной причиной дрейфа нуля является непостоянство напряжений источников питания У. п. т. Экспериментально установлено, что изменение напряжения накала $\Delta U_н$ подогревных ламп с оксидным катодом эквивалентно введению в цепь управляющей сетки постоянной эдс, примерно равной относит. изменению напряжения накала: $U_д\approx\Delta U_н/U_н$ [в], где $U_д$ — приведенное к управляющей сетке напряжение дрейфа. Напряжение дрейфа от изменения напряжения источника анодного (или коллекторного в У. п. т. на транзисторах) питания имеет величину того же порядка, что и от изменений напряжения накала. Если питание У. п. т. осуществляется от обычной сети перем. тока с нестабильностью напряжения порядка 10%, то при отсутствии спец. мер для уменьшения дрейфа в схеме У. п. т. необходимо применять схемы стабилизации напряжений накала и анода с коэфф. стабилизации в неск. тысяч. Такие схемы стабилизаторов сложны и дороги, и поэтому наряду со стабилизацией питающих напряжений У. п. т. строятся по спец. схемам, существенно уменьшающим дрейф нуля. В первую очередь обеспечивается уменьшение дрейфа первого каскада У. п. т., поскольку его дрейф усиливается всеми последующими каскадами усилителя. Уменьшение дрейфа достигается путем построения У. п. т. по компенсац. и балансным схемам.

Одной из простейших компенсационных схем является схема с катодной компенсацией, уменьшающая дрейф от изменения напряжения накала. В схеме (рис. 7) правый триод является компенсационным. Условие компенсации: $R_2=1/S_2$, где S_2 — крутизна компенсационного триода в точке покоя. Коэфф. усиления такого каскада $K=\mu R_a/(R_{i1}+R_{i2}+R_a)$. Свойством компенсации дрейфа, обусловленного изменениями напряжения накала, обладает также схема на последоват. триодах (рис. 8), при идентичности к-рых начальное напряжение на выходе равно $E_a/2$. Значит, уменьшение дрейфа, обусловл. изменениями напряжения накала и анода, а также старением ламп, деталей и колебаниями темпры, дают балансные (симметричные) схемы, построенные симметрично по отношению к выходной цепи, для к-рых характерно отсутствие начального напряжения на нагрузке. Симметричный выход балансных схем затрудняет их применение при работе на несимметричную нагрузку. Балансные схемы могут выполняться с параллельным или последоват. питанием ламп.

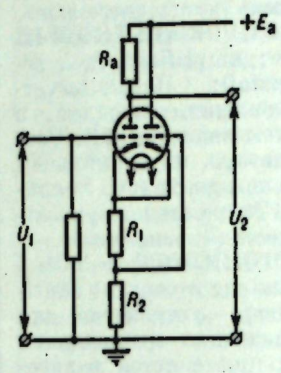


Рис. 7.

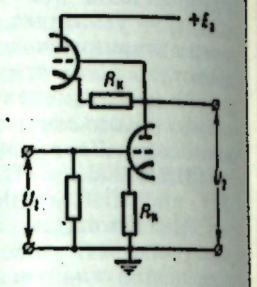


Рис. 8.

Простейшая балансная схема может быть получена, если в схеме с катодной компенсацией (рис. 7) выходное напряжение снимать между анодом левого триода и средней точкой делителя, включенного параллельно источнику анодного напряжения. Лучшие результаты дают балансные схемы, выполненные на 2 лампах (рис. 9), в к-рых коэфф. усиления каскада $K=\mu R_н/[R_н+R_i(2+R_н/R_а)]\cong SR_н/(2+R_н/R_а)$, где S — крутизна лампы. При работе на несимметричную нагрузку выходное напряжение U_2' приходится снимать с анода одной из ламп, что ухудшает компенсирующие свойства схемы. Хорошими компенсирующими свойствами обладает двухтактный каскад У. п. т. с симметричным входом и выходом, особенно при включении в общую катодную цепь большого сопротивления, создающего глубокую отрицат. обратную связь для синфазных составляющих анодного тока, обусловленных нестабильностью питающих напряжений, и не влияющую на усиление осн. сигнала. Хорошую компенсацию дрейфа дают также балансные схемы с последоват. питанием ламп (рис. 10).

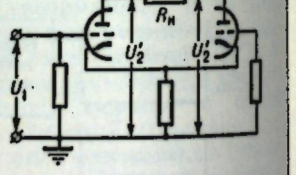


Рис. 9.

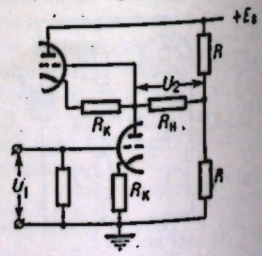


Рис. 10.

Кофф. усиления такого каскада $K=\mu R_н/[2R_н+R_i+R_к(1+\mu)+R]$. Как правило, У. п. т. имеют 2 регулировки: установка нуля и минимизация дрейфа, к-рые состоят в подборе

начальных напряжений на электродах ламп и осуществляются методом последоват. приближений. В последоват. балансной схеме (рис. 10) установка нуля автоматически обеспечивает и минимизацию дрейфа. Для уменьшения дрейфа У. п. т. на полупроводниковых приборах наряду со схемами, аналогичными рассмотренным, применяются температурно зависимые элементы (термосопротивления, диоды), компенсирующие температурные изменения параметров транзисторов. В целях уменьшения частотных искажений на ВЧ в У. п. т. вводится отрицат. обратная связь по постоянному току, при этом уменьшается также постоянная времени входной цепи. При введении комплексной обратной связи У. п. т. превращается в *операционный усилитель*, с помощью к-рого можно осуществлять дифференцирование и интегрирование входного напряжения. Совр. У. п. т. прямого действия, используемые как для усиления сигналов, так и в качестве операц. усилителей, имеют коэфф. усиления от неск. единиц до сотен тысяч и миллионов, верхнюю частотную границу полосы пропускания — порядка 0,1—1 *Мгц*, миним. значения дрейфа нуля, приведенные ко входу,— порядка десятков *мкв/ч* по напряжению и долей *мка/ч* по току (в *усилителе электрометрическом*).

Применение преобразования позволяет уменьшить дрейф нуля в У. п. т. Кроме того, У. п. т. с преобразованием дают возможность создавать независимые цепи входа и выхода, не имеющие общих точек между собой, а также с общим проводом и выводами от источников питания. Характерны: простота введения обратной связи, в том числе и при большой ее глубине; простота осуществления как плавной, так и ступенчатой регулировки усиления в широких пределах. К недостаткам У. п. т. с преобразованием относятся сравнительно большая сложность и большая подверженность воздействию электрич. и магнитных помех. В качестве преобразователей в У. п. т. с преобразованием (рис. 1) широко используются балансные модуляторы; могут применяться также механич. прерыватели или конденсаторы с механически изменяемой емкостью (вращающиеся или вибрационные). В качестве балансных модуляторов могут использоваться электронные (на диодах, усилит. лампах или полупроводниковых приборах), с датчиками Холла, магнитные. Достоинством модулятора с датчиком Холла является малый дрейф и работоспособность на ВЧ. Магнитный балансный модулятор, представляющий собой дифференц. магнитный усилитель, удобен в эксплуатации и позволяет получить коэфф. преобразования значительно больше единицы. Для работы балансных модуляторов необходим гетеродин на несущей частоте f_0, к-рая должна быть примерно в 10 раз больше высшей частоты усиливаемого сигнала. Гетеродин должен иметь высокую стабильность по амплитуде, для чего целесообразно применять стабилизированные RC-генераторы с положит. и отрицат. обратными связями, содержащие барретирующий элемент (напр., термистор). Усилитель несущей частоты должен иметь полосу пропускания $\Delta F\geqslant 2(f_в+\Delta f_0)$, где $f_в$ — высшая частота усиливаемого сигнала, а $\pm\Delta f_0$ — нестабильность несущей частоты. Для демодуляции чаще всего применяются балансные и кольцевые демодуляторы, к-рые могут быть электронными (на диодах, усилит. лампах, транзисторах) или при применении механич. прерывателей — электромеханическими (контактные прерыватели). Достоинством последних является отсутствие дрейфа, высокий кпд, линейность; при использовании контактного прерывателя в качестве модулятора контактный модулятор целесообразно осуществлять за счет дополнительной группы контактов на общем с модулятором реле. Коэфф. усиления У. п. т. с преобразованием по напряжению $K_п=K_м K_о K_д$, где $K_м$, $K_о$ и $K_д$ — соответственно коэфф. усиления модулятора, усилителя несущей частоты и демодулятора; крутизна $S_у=K_п/R_н$; коэфф. усиления по току $K_i=K_п R_{вх}/R_н$, где $R_{вх}$ — входное сопротивление У. п. т. (модулятора). Совр. У. п. т. с преобразованием усиливают напряжения, начиная с сотых долей *мкв*, и имеют дрейф, приведенный ко входу, порядка тысячных долей *мкв/ч*; высшая частота усиливаемого сигнала — порядка десятков *кгц*.

Осн. направления совершенствования У. п. т. связаны с повышением стабильности (уменьшением дрейфа) при достаточно больших коэфф. усиления.

Лит.: Войшвилло Г. В., Усилители низкой частоты на электронных лампах, 2 изд., М., 1963; Цыкин Г. С., Электронные усилители, 2 изд., М., 1963; Байда Л. И., Семенкович А. А., Электронные усилители постоянного тока, М.—Л., 1953; Скотт Н. Р., Техника аналоговых и цифровых вычислительных машин, пер. с англ., М., 1963.

И. М. Коган.

УСИЛИТЕЛЬ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ (intermediate frequency amplifier; amplificateur à moyenne fréquence; Zwischenfrequenzverstärker) — устройство для усиления электрич. сигналов фиксированной частоты, выделяемой в супергетеродинных приемниках после преобразования входного ВЧ сигнала. Частота, на к-рую в супергетеродине переносится входной сигнал, наз. промежуточной, т. к. лежит между ВЧ входным и НЧ выходным сигналами. Осн. параметры У. п. ч.— ср. частота настройки f_0, ширина полосы пропускания Δf и резонансный коэфф. усиления K_0. Ширина полосы пропускания зависит от назначения приемника. В У. п. ч. радиотелеграфных приемников она составляет неск. сотен *гц*, радиовещательных — единицы *кгц*, телевизионных и радиолокационных — единицы *Мгц*. Частота настройки f_0 также зависит от назначения приемника и обычно лежит в пределах от 110 *кгц* до 60—200 *Мгц*. Характерная особенность У. п. ч., обусловленная супергетеродинным методом приема,— фиксированная частота настройки, что позволяет применять значит. число колебат. контуров, а это в свою очередь обеспечивает высокую избирательность при широких полосах пропускания и позволяет производить осн. усиление сигнала в приемном усилит. тракте на промежуточной частоте. Коэфф. усиления У.п.ч. порядка 10^4—10^5. В качестве У. п. ч. используются резонансные и полосовые усилители. Наиболее широко применяются след. 3 типа У. п. ч.: 1) с каскадами, в каждом из к-рых содержатся одиночные колебат. контуры, настроенные на одну частоту; 2) с каскадами, в каждом из к-рых содержатся одиночные колебат. контуры, причем контуры различных каскадов попарно расстроены симметрично относительно частоты f_0 (т. н. расстроенные двойки; на практике применяются

и т. н. тройки, в к-рых из каждых трех контуров два расстроены, а один настроен на f_0); 3) с каскадами, в каждом из к-рых включены два связанных контура, настроенные в резонанс на частоту f_0. Принципиальные схемы У. п. ч. этих типов отличаются в основном только характером анодных нагрузок ламп и могут быть представлены в виде единой обобщенной схемы с пассивными *четырехполюсниками* в сеточной и анодной цепях лампы (см. *Усилитель высокой частоты*).

Параметры различных типов У. п. ч. описываются расчетными ф-лами одного и того же вида, отличающимися лишь поправочным множителем. Резонансный коэфф. усиления n-каскадного У. п. ч. определяется ф-лой

$$K_0=\frac{1}{\varphi(n)}\left(\frac{S}{2\pi C\Delta f}\right)^n,$$

в к-рой S — крутизна лампы, C — емкость контура (при использовании двухконтурных каскадов $C=\sqrt{C_1C_2}$, где C_1 и C_2 емкости первичного и вторичного контуров), Δf — общая полоса пропускания усилителя. Множитель $1/\varphi(n)$ зависит только от типа усилителя и числа каскадов. При расчетах его значения берутся из таблиц [1, 2, 3]. Анализ ф-лы показывает, что при заданных значениях n, Δf, C, S и использовании ламп с малым разбросом емкостей наибольшим усилением обладает У. п. ч. с одиночными попарно расстроенными контурами; несколько меньшим — У. п. ч. со связанными контурами в каждом каскаде. Наименьшее усиление имеет в этом случае усилитель с одиночными контурами, настроенными в резонанс. Практически в ряде случаев наибольшее усиление дают У. п. ч. с двумя связанными контурами в каждом каскаде, т. к. результирующая емкость контура C в них оказывается меньше, чем в У. п. ч. с одиночными контурами. Особенно существенными становятся преимущества двухконтурных У. п. ч. при использовании ламп со значит. разбросом междуэлектродных емкостей. При этом для обеспечения устойчивости настройки и формы резонансной кривой усилителя приходится значительно увеличивать емкости контуров по сравнению с междуэлектродными емкостями ламп. Двухконтурные У. п. ч. обладают наиболее устойчивой формой резонансной хар-ки, благодаря чему в них удается использовать наименьшие величины емкостей. Наихудшую устойчивость частоты настройки и формы резонансной кривой имеют усилители с попарно расстроенными контурами; промежуточное положение в этом отношении занимают У. п. ч. с одиночными контурами, настроенными в резонанс.

На работу всех типов У. п. ч. существенно влияют паразитные обратные связи через емкость сетка — анод усилит. ламп, общие цепи питания каскадов, распределенные емкости и взаимоиндуктивности монтажа. Обратная связь через емкость сетка — анод ограничивает макс. усиление каскада определ. величиной. Усиление в У. п. ч. регулируется путем изменения напряжения смещения на управляющих сетках всех или части ламп. Управляющее напряжение вырабатывается системой АРУ. Для уменьшения общего коэфф. шума (см. *Шумфактор*) первый каскад У. п. ч. должен обладать малыми собств. шумами и значит. усилением. В большинстве случаев на входе У. п. ч. либо используют каскад на пентоде, либо два триода, из к-рых первый включен по схеме с общим катодом, а второй — по схеме с общей сеткой (см. *Усилитель каскодный*). На практике часто первые 2—3 каскада У. п. ч. выполняются в виде отд. самостоят. узла, наз. предварительным У. п. ч.

Широко распространены У. п. ч. на транзисторах. Наиболее часто применяются У. п. ч. с каскадами на одиночных резонансных контурах, настроенных в резонанс, и с двумя связанными контурами в каждом каскаде. Транзисторы включаются по схеме с общей базой или с общим эмиттером. Первая схема менее подвержена влиянию параметров транзистора на показатели каскада, т. е. более стабильна; во второй схеме обеспечивается больший коэфф. усиления мощности. По сравнению с ламповыми У. п. ч. на транзисторах имеют 2 особенности: 1) необходимо компенсировать внутр. обратную связь, свойственную транзисторам в более сильной степени, чем электронным лампам; 2) важны вопросы согласования каскадов вследствие большой разницы между входным и выходным сопротивлениями транзистора. Внутр. обратная связь компенсируется с помощью спец. схем нейтрализации [5]. Согласование каскадов обеспечивается тр-рами, автотр-рами или резонансными контурами. При включении транзистора по схеме с общей базой применение каскадов со связанными контурами нецелесообразно, т. к. первый контур практически не шунтируется большим выходным сопротивлением транзистора, а второй контур сильно шунтируется малым входным сопротивлением последующего каскада. В схеме с общим эмиттером легче обеспечить одинаковые добротности контуров, т. к. различие между величинами входного и выходного сопротивлений меньше. Использование ПП приборов в У. п. ч. открывает широкие возможности миниатюризации аппаратуры.

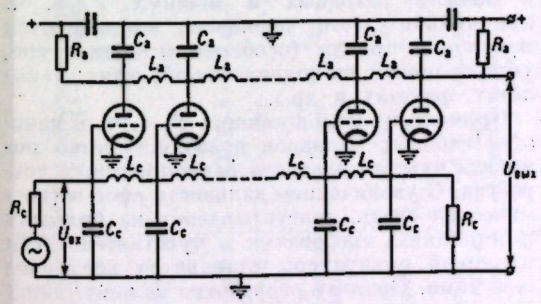
Лит.: 1) Волин М. Л., Усилители промежуточной частоты, 3 изд., М., 1956; 2) Сифоров В. И., Радиоприемники сверхвысоких частот, 2 изд., М., 1957; 3) Куликовский А. А., Линейные каскады радиоприемников, М.—Л., 1955; 4) Колосов А. А., Резонансные системы и резонансные усилители, М., 1949; 5) Кобзев В. В., Шишмаков В. Н., Каскады радиоприемников на транзисторах, М.—Л., 1960. *Л. Л. Москвитин.*

УСИЛИТЕЛЬ РЕЗОНАНСНЫЙ [tuned amplifier; amplificateur accordé (à resonance); Resonanzverstärker] — усилитель, каждый каскад которого содержит, помимо активного элемента, колебательный контур, настроенный на определенную частоту. Для частот, не превышающих 100 *Мгц*, колебательный контур состоит из конденсатора и катушки индуктивности, а на более высоких частотах выполняется в виде объемных резонаторов, отрезков коаксиальных линий и т. п. Один из реактивных элементов колебат. контура делается переменным, что позволяет производить настройку У. р. на частоту усиливаемого сигнала и перестройку в нужном диапазоне частот. В зависимости от способа включения колебат. контура в цепь усилит. элемента различают неск. вариантов схем каскадов У. р.: 1) с непосредственным включением контура (наиболее простая и распространенная); 2) с трансформаторным включением контура (позволяющая подбирать наивыгоднейшую связь между контуром и активным элементом, напр. с точки зрения получения наибольшего усиления или наименьшего коэфф. шума); 3) с автотрансформаторным включением контура (применяется для уменьшения потерь, вносимых в контур усилит. элементом в усилителях на транзисторах, обладающих низким входным сопротивлением).

Осн. параметры, характеризующие У. р.: 1) Коэфф. усиления, зависящий от частоты усиливаемого сигнала и достигающий максимума на частоте, равной собств. резонансной частоте контура (резонансный коэфф. усиления). 2) Хар-ка зависимости коэфф. усиления от частоты (резонансная хар-ка усилителя). 3) Избирательность (способность У. р. выделить напряжение полезного сигнала из совокупности напряжений различных частот). 4) Устойчивость (способность осн. параметров У. р. к постоянству, отсутствие состояний самовозбуждения). По принципу У. р. выполняются *усилители высокой частоты*, *усилители промежуточной частоты* и *усилители сверхвысокой частоты*. Полосовые усилители, обеспечивающие усиление сигналов в указанных диапазонах, но построенные с применением электрич. фильтров, с постоянными параметрами не могут быть отнесены к У. р., т. к. не обладают четко выраженной средней (резонансной) частотой и не перестраиваются по частоте в процессе эксплуатации.

Лит.: Колосов А. А., Резонансные системы и резонансные усилители, М., 1949; Сифоров В. И., Радиоприемные устройства, 5 изд., М., 1954. *А. И. Трифонов.*

УСИЛИТЕЛЬ С РАСПРЕДЕЛЕННЫМИ ПАРАМЕТРАМИ (distributed parameters amplifier; amplificateur à paramètres répartis; Verstärker mit verteilten Parametern) — усилитель, образованный сочетанием активных элементов и отрезков длинных линий; применяется для усиления в весьма широкой полосе частот; в отличие от *усилителя широкополосного* с сосредоточенными параметрами, позволяет получить теоретически неогранич. усиление при широкой полосе пропускания (практически усиление ограничивается трудностью обеспечения однородности и согласования систем с распределенными параметрами). Один каскад У. с р. п. состоит из неск. ламп, включенных между сеточной и анодной искусств. длинными линиями (рис.).



Сеточная и анодная линии, имеющие волновые сопротивления $\varrho_c=\sqrt{L_c/C_c}$ и $\varrho_a=\sqrt{L_a/C_a}$, на обоих концах согласованы с поглощающими нагрузками и с сопротивлением источника входного напряжения $U_{вх}$: $R_c=\varrho_c$, $R_a=\varrho_a$. При включении напряжения $U_{вх}$ в сеточной линии образуется бегущая волна (на рисунке она распространяется слева направо). Напряжение этой волны, достигая последовательно сеток ламп, создает усиленное напряжение на их анодах, вызывающее появление в анодной линии бегущей волны, распространяющейся как вправо, так и влево от этих ламп. Волна, распространяющаяся влево, поглощается в левой согласованной нагрузке R_a и в образовании выходного напряжения не участвует. Напряжения волн, распространяющихся в анодной линии вправо, суммируются, образуя выходное напряжение $U_{вых}$, снимаемое с правой согласованной нагрузки R_a.

Т. о., напряжения, создаваемые последовательно включенными лампами У. с р. п., суммируются, в то время как в обычных многокаскадных усилителях с сосредоточ. параметрами эти напряжения перемножаются. В этом состоит принципиальное отличие У. с р.п. от усилителей с сосредоточ. параметрами: в последних, начиная с нек-рой достаточно широкой полосы пропускания, коэфф. усиления, даваемый одной лампой, становится меньше единицы, вследствие чего их каскадное соединение может только уменьшить усиление; в У. с р.п. последовательное суммирование напряжений позволяет получить требуемый коэфф. усиления несмотря на то, что каждая из ламп дает усиление, меньшее единицы. Работа У. с р. п. основана на равенстве скоростей распространения волн в сеточной и анодной линиях, что требует выполнения условия $L_aC_a=L_cC_c=L_1C_1$. Верхняя граница полосы пропускания близка к критич. частоте искусств. линий $f_{кр}=1/\pi(\sqrt{L_1C_1})$. Время установления переходного процесса $t_{уст}\cong 1{,}1\ n^{1/2}\sqrt{L_1C_1}$, где n — число ламп (секций) в каскаде (на рис. изображен один каскад У.с р. п., состоящий из неск. секций). Коэфф. усиления одного каскада У. с р. п. $K_n=(nS/2)\sqrt{\varrho_a\varrho_c}$, где S — крутизна ламп У. с р. п. Коэфф. усиления У. с р. п., состоящего из m последовательно включенных каскадов, $K_N=(nS\sqrt{\varrho_a\varrho_c}/2)^m$.

Общее количество ламп многокаскадного У. с р. п. минимально тогда, когда усиление одного каскада $K_n=e=2{,}718\ \ldots$.

Для согласования двух каскадов У. с р. п., имеющих разные волновые сопротивления ϱ_a и ϱ_c, необходим тр-р с коэфф. передачи $K_{тр}=\sqrt{\varrho_c/\varrho_a}$. Ввиду трудности осуществления широкополосных тр-ров анодную и сеточную линии делают идентичными; так как емкости C_c обычно представляют собой междуэлектродные емкости сетка — катод, то для этого в анодную линию приходится включать спец. емкости, дополняющие междуэлектродные емкости анод — катод до величины C_c. Вблизи критич. частоты амплитудно-частотная хар-ка У. с р. п. имеет подъем, обусловленный возрастанием входного сопротивления линий, а фазо-частотная хар-ка отклоняется от прямолинейной. Для улучшения частотных хар-к У. с р. п. принимаются различные меры, из к-рых наиболее распространенными являются: замена звеньев линий типа k звеньями типа m путем введения взаимоиндукции между индуктивностями отдельных звеньев; построение линий из перекрытых Т-звеньев; попарное соединение анодов соседних ламп с заменой пропускаемых при этом емкостей анод — катод конденсаторами соответствующей емкости; «расстройка» сеточной и анодной линий, при к-рой скорость распространения волн в них $v=1/\sqrt{L_1C_1}$ делается несколько различной. Для хорошей работы У. с р. п. необходимо точное согласование

линий и нагрузок. Реальные У. с р. п. при 2—3 каскадах, содержащих по 5—8 ламп в каждом каскаде, могут дать коэфф. усиления порядка 10 в полосе частот неск. сотен *Мгц*.

Лит.: Айзинов М. М., Переходные процессы в элементах радиоустройств, Л., 1955; Бялик Г. П., Ламповые широкополосные усилители, 3 изд., М.—Л., 1960; Ризкин А. А., Основы теории усилительных схем, 3 изд., М., 1958.

И. М. Коган.

УСИЛИТЕЛЬ СВЕРХВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ [microwave amplifier; amplificateur THF (à très haute-fréquence); Ultrahochfrequenzverstärker, UHF-Verstärker] — устройство для усиления электромагнитных колебаний радиочастот, превышающих 30 *Мгц* (волны короче 10 *м*). У. с. ч. применяются в качестве входных усилителей в приемных устройствах радиолокац., радиотелеметрич., телевиз. и др. аппаратуры и усилителей промежуточной частоты приемников сантиметрового и дециметрового диапазонов с промежуточными частотами порядка 30—100 *Мгц*. Применение входных малошумящих У. с. ч. уменьшает *шумфактор* приемника, увеличивает его *чувствительность*, улучшает избирательность по зеркальному каналу и уменьшает обратное излучение, возникающее за счет попадания части мощности гетеродина в антенну.

В диапазоне метровых волн (λ=1—10 *м*) в качестве У. с. ч. используются триоды и пентоды в миниатюрном и сверхминиатюрном оформлении (пальчиковые лампы и лампы серии «дробь»), в к-рых для уменьшения вредного влияния времени пролета электронов и повышения крутизны значительно уменьшены междуэлектродные расстояния, а сами электроды выполнены малых размеров, чтобы сохранить небольшими значения междуэлектродных емкостей, индуктивностей и взаимоиндуктивностей вводов. Пром-стью для применения в метровом диапазоне волн (на частотах 30—300 *Мгц*) выпускаются пентоды (6Ж1П, 6Ж9П, 6Ж1Б и др.) и триоды (6С3П, 6Н3П, 6С15П и др.). На верхних частотах метрового диапазона волн (200—300 *Мгц*) используют гл. обр. триоды, включенные по схеме с заземленной (общей) сеткой. При этом внутриламповой проходной емкостью, связывающей входной и выходной контуры, является емкость между анодом и катодом $C_{ак}$, к-рая за счет экранирующего действия сетки может быть сделана весьма малой (0,005—0,01 *пф*). В предварит. усилителях промежуточной частоты супергетеродинных приемников (на частотах 30—100 *Мгц*) широко применяется двухкаскадная схема, в первом каскаде к-рой триод включен по схеме с заземленным катодом, во втором — по схеме с заземленной сеткой (см. *Усилитель каскодный*). Иногда вместо триодов используются пентоды в триодном включении. Каскодная схема обеспечивает низкий уровень шума при достаточно большом усилении по мощности.

В дециметровом диапазоне на волнах короче 30—40 *см* применение ламп со стержневыми вводами наталкивается на трудности, обусловленные не только инерционностью, паразитными междуэлектродными емкостями и др. св-вами лампы, но и вызванные необходимостью соединять лампу с колебат. контурами в виде отрезков коаксиальных линий и *резонаторов объемных*. Поэтому в дециметровом диапазоне (λ=10 *см* — 1 *м*) в У. с. ч. применяются лампы с дисковыми вводами, т. н. *лампы маячковые*. Они используются в схеме с заземленной (общей) сеткой и обеспечивают удовлетворит. работу на волнах 25—30 *см*. Титанокерамич. маячковые триоды способны работать на еще более коротких волнах. Сов. пром-сть выпускает маячковый триод 6С9Д для работы на частотах до 900 *Мгц* ($\lambda\approx$33 *см*) и титанокерамич. маячковый триод 6С17К для частот до 3000 *Мгц* (λ=10 *см*). *Шумфактор* этих ламп — в пределах 10—15 *дб*, шумовая темп-ра ~2700—9000°К.

Др. класс малошумящих У. с. ч. представляют *лампа бегущей волны*, полупроводниковый и электронолучевой *параметрический усилитель* и *парамагнитный усилитель квантовый*.

Самыми малыми собств. шумами обладают квантовые парамагнитные усилители, в к-рых усиление осуществляется за счет использования индуцированного излучения возбужденных атомов (см. *Квантовый усилитель*, *Квантовая система*, *Мазер*).

В квантовых парамагнитных У. с. ч. бегущей волны относит. полоса пропускания при усилении 20—25 *дб* составляет от десятых долей до одного процента. Шумовая темп-ра порядка 10—20°К (шумфактор ~0,1—0,4 *дб*). Эти У. с. ч. довольно сложны в эксплуатации и применяются гл. обр. в стационарной аппаратуре с высокой чувствительностью, когда шумовая темп-ра T_a антенны меньше 10—30°К. В тех часто встречающихся случаях, когда $T_a\approx$100—300°К (за счет влияния излучения земли и т. д.), их использование становится нецелесообразным. При этом хорошие результаты дают более простые параметрич. У. с. ч.

У. с. ч. на малошумящих ЛБВ по шумовым хар-кам уступают параметрич. У. с. ч.; однако последние только выходят из стадии лабораторных разработок. Поэтому в серийной аппаратуре сантиметрового и коротковолновой части дециметрового диапазонов ($\lambda\simeq$3—15 *см*) ЛБВ широко используются в качестве малошумящих У. с. ч. На более длинных волнах дециметрового диапазона ($\lambda\simeq$15—60 *см*) ЛБВ не имеют больших преимуществ перед более простыми, малогабаритными и экономичными маячковыми триодами. Поэтому в качестве входных и мощных У. с. ч. приемников этого диапазона применяются маячковые триоды (особенно в аппаратуре, установленной на подвижных объектах: самолетах, ракетах и др.).

Применение малошумящих У. с. ч. в качестве входных каскадов позволяет резко повысить чувствительность радиоприемных устройств. С увеличением дальности систем (космическая связь, телеуправление на больших расстояниях) требования к чувствительности приемной аппаратуры становятся все более жесткими. Поэтому разработке малошумящих У. с. ч. уделяется большое внимание.

В качестве усилителей СВЧ ср. и большей мощности применяются также усилительные *клистроны*, работающие в импульсном или непрерывном режиме. Наибольшее распространение получили усилит. клистроны многорезонаторного типа. Коэфф. усиления такого У. с. ч. зависит от числа резонаторов клистрона и лежит в пределах 15—90 *дб*; кпд усилит. клистронов 15—50% (меньшая цифра характерна для маломощных усилит. клистронов), относит. полоса пропускания — порядка единиц процентов. Так же как и

Тип усилителя	Диапазон волн	Полоса пропускания (%)	Усиление (*дб*)	Кпд (%)	Шумфактор (*дб*)	Выходная мощность: импульсная	Выходная мощность: в непрерывном режиме	Осн. область применения	Особенности
Маячковые триоды	Дециметровый	1	Малое	1	10—15	Единицы и десятки *вт*	30—150 *мвт*	Входной усилитель и усилитель мощности в приемниках и передатчиках дециметрового диапазона	Простота, низкая стоимость
Усилительные клистроны Малошумящие ЛБВ	Дециметровый и сантиметровый Дециметровый и сантиметровый	~1,5—5 ~10—30	15—90 ~25	15—50 1	Не нормируется 6—10	До 30 *Мвт* <1 *мвт*	10—50 *квт* <1 *мвт*	Оконечный усилитель в радиолокац. передатчиках Входной усилитель в приемниках сантиметрового и дециметрового диапазонов	Высокий кпд, большая мощность Широкополосность, малые шумы
Мощные ЛБВ	Дециметровый и сантиметровый	~10—40	20—30	20—30	Не нормируется	От ед. *квт* до ед. *Мвт*	Сотни *вт*	Оконечный широкополосный усилитель мощности в радиорелейных и радиолокац. передатчиках	Широкополосность
Параметрич. усилители	Дециметровый и сантиметровый	~0,5—2	15—20	1	2—4 в дециметровом диапазоне, 5—6 в сантиметровом диапазоне	<1 *мвт*	<1 *мвт*	Входной малошумящий усилитель в радиолокац. приемниках.	Весьма малые шумы
Квантовые парамагнитные усилители	Дециметровый, сантиметровый и миллиметровый	0,01—0,1 в резонаторных; 0,1—1 в усилителях бегущей волны	15—20	1	0,1—0,3	<1 *мквт*	<1 *мквт*	Входной сверхмалошумящий усилитель в стационарной аппаратуре с большой дальностью (космич. связь и т. п.)	Пренебрежимо малые собств. шумы

у мощных ЛБВ, шумфактор усилит. клистронов не нормируется, поскольку они работают при большом отношении сигнал/шум. Импульсные клистроны перекрывают отд. участки дециметрового и сантиметрового диапазонов волн и позволяют получить выходную мощность до 30 *Мвт* в импульсе. Мощные усилит. клистроны непрерывного действия имеют выходную мощность 10—50 *квт* при кпд порядка 40%.

В последние годы появились нек-рые новые типы мощных У. с. ч.— амплитрон (*платинотрон*), цирклотрон, *спиратрон*, эстиатрон и др. У. с. ч. на амплитроне в дециметровом диапазоне ($\lambda\simeq$20—30 *см*) обеспечивают выходную мощность в импульсе порядка 2—3 *Мвт* в полосе частот 7—10% и имеют коэфф. усиления 10 *дб*, а кпд 50—60%.

Мощный усилит. прибор, представляющий собой комбинацию магнетрона и ЛБВ, назван цирклотроном. В нем используется колебат. система магнетронного типа с одним выводом энергии. Разделение входных и выходных сигналов осуществляется ферритовым циркулятором. Прибор обеспечивает большое усиление за счет внутр. регенеративной обратной связи. Эксперимент. образцы У. с. ч. на цирклотроне 3-сантиметрового диапазона имеют коэфф. усиления более 20 *дб* в полосе пропускания более 5% и выходную мощность 1—10 *квт* при кпд в пределах 30—60%. С целью уменьшения веса, габаритов и повышения кпд мощных усилителей разработаны ЛБВ с центробежно-электростатич. фокусировкой (спиратроны) и ЛБВ с периодич. электростатич. фокусировкой (эстиатроны). Фокусировка пучка в эстиатронах достигается с помощью электростатич. поля, образованного периодически чередующимися элементами замедляющей структуры. Пром. образцы эстиатронов дециметрового диапазона (f=2000—3500 *Мгц*) имеют коэфф. усиления 23 *дб*, выходную мощность 5 *вт*, вес — 900 *г*. Наиболее распространенные У. с. ч. и их основные параметры указаны в таблице.

Лит.: 1) Кукарин С. В., Современное состояние и тенденции развития приборов СВЧ, М., 1962; 2) Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960.

Л. Л. Москвитин.

УСИЛИТЕЛЬ ТОКА (current amplifier; amplificateur de courant; Stromverstärker)— см. *Усилитель постоянного тока*.

УСИЛИТЕЛЬ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ (photo-electric amplifier; amplificateur photoélectrique; photoelektrischer Verstärker) — усилитель пост. тока (напряжения), в к-ром используется изменение освещенности светочувствит. элемента (фотоэлемента, фотосопротивления) под влиянием усиливаемого тока (напряжения). Ток в цепи светочувствит. элемента (СЭ) определяется его освещенностью, к-рая зависит от изменения яркости или смещения светового потока. Приводим сведения о нек-рых У. ф.

Первый тип (входной сигнал управляет яркостью источника света): 1) фотоэлектронакальный У. ф., в к-ром СЭ служит раскаленный твердый излучатель, напр. силитовый стержень, по к-рому пропускается ток накала (рис. 1, *а*); 2) фотоэлектролюминесцентный У. ф., в к-ром происходит изменение яркости электролюминесценции тонкого слоя фосфора, на поверхность к-рого нанесен слой фотопроводника; конструкция аналогична конструкции *усилителя света и изображения*, рис. 1, *б*

(см. также *Оптрон*); 3) фотоэлектрогазовый У. ф., в к-ром входной сигнал управляет свечением разряда в газоразрядной лампе; свечение (рис. 3). Некоторые У. ф., работающие в оптим. режиме, имеют чувствительность по току 10^{-14} *а*, при отношении сигнал/шум равном 2.

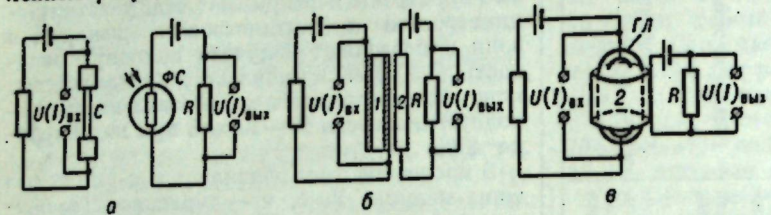


Рис. 1. Принципиальные схемы фотоэлектрич. усилителей с управлением яркостью: *а* — фотоэлектронакальный; *б* — фотоэлектролюминесцентный; *в* — фотоэлектрогазовый; *С* — силитовый стержень; *ФС* — фотосопротивление; *R* — сопротивление нагрузки; *ГЛ* — газоразрядная лампа; *1* — слой электролюминофора; *2* — слой фотопроводника.

точувствит. (фотопроводника) слой нанесен на поверхность баллона лампы (рис. 1,*в*).

Второй тип (входной сигнал управляет направлением светового потока): фотокомпенсац. микровольтамперверберметры, микровольтмикроамперметры, фотокомпенсац. компараторы, фотокомпенсац. усилители (рис. 2), фотоэлектрооптич. усилители. В этих приборах яркость источника света поддерживается строго неизменной, свет от него с помощью фокусирующей системы направляется на зеркальце гальванометра и, отражаясь от него, попадает на поверхность СЭ. Входной сигнал

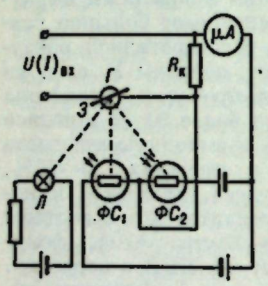


Рис. 2. Принципиальная схема фотокомпенсац. усилителя: *Л* — лампочка накаливания; *Г* — зеркальный гальванометр; *З* — зеркальце гальванометра; $R_к$ — компенсац. сопротивление (*З* поворачивается, если $U_{вх} \neq U_{R_к}$, при этом изменяется распределение светового потока между $ФС_1$ и $ФС_2$ и ток через $R_к$ также изменяется до тех пор, пока не установится $U_{R_к} = U_{вх}$; *З* останавливается, по микроамперметру производится отсчет).

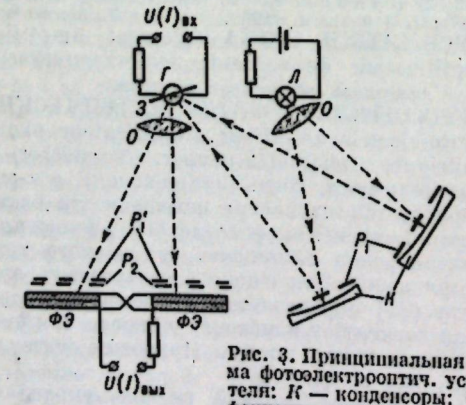


Рис. 3. Принципиальная схема фотоэлектрооптич. усилителя: *К* — конденсоры; *О* — фокусирующие линзы; *ФЭ* — фотоэлементы; P_1 — решетчатые диафрагмы конденсоров; P_2 — решетчатые диафрагмы фотоэлементов; P_1' — изображение P_1 в плоскости P_2 (при повороте *З* смещается P_1' относительно P_2 и в цепи *ФЭ* появляется ток).

подается на гальванометр, вследствие чего зеркальце поворачивается, и освещенность СЭ изменяется. Усиленный сигнал (т. е. сигнал в цепи СЭ) измеряется либо непосредственно с помощью прибора, либо по схеме компенсации; при необходимости У. ф. может иметь неск. каскадов усиления. У. ф. этого типа обладают значительно большей стабильностью и чувствительностью. Поэтому они находят очень широкое применение в качестве элементов точных электроизмерит. устройств, напр. в *спектроскопии инфракрасной* для усиления слабого электрич. сигнала, возникающего в приемнике ИК-излучения (рис. 3). Некоторые У. ф., работающие в оптим. режиме, имеют чувствительность по току 10^{-14} *а*, при отношении сигнал/шум равном 2.

У. ф. обоих типов могут применяться в качестве *фотоэлектрических элементов автоматики* (регулирование и регистрация различных процессов); фотоэлектрогазовые и фотоэлектролюминесцентные усилители могут использоваться как элементы запуска или задержки.

Лит.: Шкурин Г. П., Справочник по новым электроизмерительным приборам, М., 1964; Козырев Б. П., Фотоэлектрооптический усилитель, «УФН», 1951, т. 44, вып. 2, с. 173; Методы спектрального анализа, под ред. В. Л. Левшина, М., 1962.

М. М. Горшков.

УСИЛИТЕЛЬ ШИРОКОПОЛОСНЫЙ (wide band amplifier; amplificateur à large bande passante; Breitbandverstärker) — устройство для усиления электрич. сигналов в полосе частот, превышающей единицы, а иногда и десятки процентов от ср. частоты усилителя (У. ш. полосового типа). Применяется в качестве *усилителя промежуточной частоты* в супергетеродинных приемниках радиолокационных, телевизионных и др. устройств (ламповые и полупроводниковые резонансные усилители); в качестве входных и мощных *усилителей сверхвысокой частоты* (*лампы бегущей волны*, эстиатроны). Часто У. ш. определяют как устройство для усиления электрич. сигналов, спектр к-рых содержит частоты от единиц *гц* до десятков *Мгц* (У. ш. нижних частот). Применяется в качестве *усилителя видеоимпульсов* в телевидении, радиолокац. приемных устройствах, автоматике и телемеханике, аппаратуре для физич. исследований и т. д.

Оси. требование к У. ш. нижних частот — малые искажения формы усиливаемых сигналов. Важной хар-кой У. ш. является полоса пропускания, определяемая как разность граничных частот $f_в$ и $f_н$, на к-рых коэфф. усиления уменьшается на 3 *дб* по сравнению с его значением на средних частотах (рис. 1, *а*). Обычно $f_н \ll f_в$ и за ширину полосы пропускания Δf принимают значение $f_в$. Фазовая хар-ка У. ш. (зависимость фазового сдвига от частоты) однозначно связана с частотной хар-кой; в области постоянного коэфф. усиления фазовая хар-ка линейна и частотные и фазовые искажения отсутствуют. Кроме спектральных (частотной и фазовой) хар-к для оценки качества воспроизведения сигналов, в У. ш. применяют т. н. переходную хар-ку — реакцию усилителя на единичный перепад входного напряжения (рис. 1, *б*, 1, *в*). В реальных У. ш. за счет искажений ВЧ составляющих спектра сигнала выходное напряжение вместо мгновенного изменения относительно медленно возрастает до макс. значения, а затем начинает падать вследствие искажений НЧ составляющих спектра. Количественно искажения переднего фронта единичного перепада (или прямоугольного импульса) оцениваются временем установления $t_у$, в течение к-рого выходное напряжение изменяется от 0,1 до 0,9 своего установившегося значения (рис. 1,*в*). Напр., в телевиз. и радиолокац. У. ш. время установления не должно превышать десятых или даже сотых долей *мксек*. Количеств. оценкой искажений плоской части импульса является относит. величина спада напряжения Δ за время действия импульса. В ряде случаев возможен немонотонный процесс установления напряжения, т. е. одиночный выброс или затухающий колебат. процесс на вершине импульса. Величина допустимого начального выброса H наряду с $t_у$ и Δ является важным параметром У. ш. и задается при его расчете.

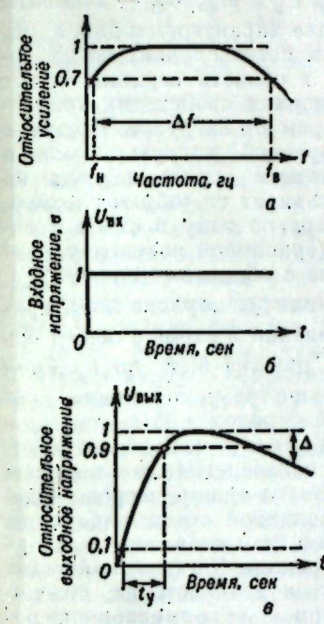


Рис. 1. *а* — частотная характеристика У. ш.; *б* — единичный перепад входного напряжения; *в* — переходная характеристика У. ш.

В качестве активных элементов У. ш. используются электронные лампы и полупроводниковые триоды. В типичной схеме усилит. каскада на электронной лампе (рис. 2,*а*)

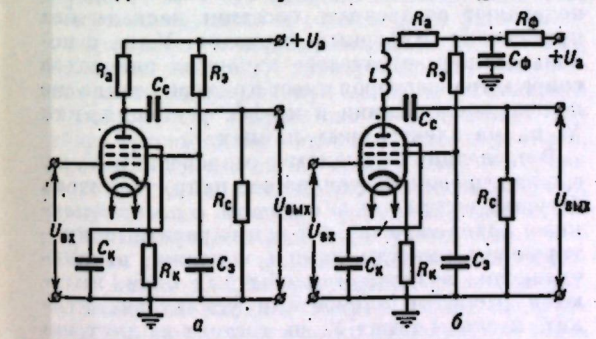


Рис. 2. *а* — ламповый каскад У. ш. без коррекции; *б* — ламповый каскад с коррекцией фронта и плоской части импульса.

элементы $C_к$ и $R_к$ образуют цепочку автоматич. смещения; $C_с$ — переходный конденсатор, защищающий последующий каскад от высокого напряжения источника питания $U_а$; $R_с$ — сопротивление утечки сетки последующего каскада; $R_э$ — гасящее сопротивление в цепи экранирующей сетки; $C_э$ — шунтирующий его конденсатор. В качестве анодной нагрузки $R_а$ в У. ш. используют активные сопротивления, т. к. каскады с дроссельной или трансформаторной нагрузкой не могут обеспечить необходимую ширину полосы пропускания. Коэфф. усиления каскада на пентоде в области средних частот определяется соотношением $K = SR_а$, где S — крутизна хар-ки лампы. На НЧ коэфф. усиления уменьшается и появляется фазовый сдвиг из-за влияния разделит. цепочки $C_с$ $R_с$, что вызывает спад плоской части импульсов. Нижняя граничная частота $f_н$ и спад плоской части импульса длительностью τ зависят от постоянной времени $\tau_н = C_с R_с$: $f_н = 1/2\pi\tau_н$, $\Delta \approx \tau/\tau_н$ (при $\Delta < 15$—20%). Поведение У. ш. в области ВЧ (искажения фронта импульса) определяется постоянной времени $\tau_в = CR_а$:

$$f_в = 1/2\pi\tau_в\,;\ t_у = 0{,}35/f_в = 2{,}2\,\tau_в,$$

где $C = C_{вых} + C_м + C_{вх}$, $C_{вых}$ — выходная емкость лампы, $C_м$ — паразитная емкость монтажных проводов относительно «земли», $C_{вх}$ — входная емкость последующего каскада. Произведение коэфф. усиления на полосу пропускания есть величина постоянная, определяемая только крутизной лампы и емкостью C: $Kf_н = S/2\pi C$. Отношение $S/2\pi C$ характеризует «усилительную способность» лампы при широкополосном усилении; его также называют «широкополосностью» лампы. При практически реализуемых миним. значениях паразитных емкостей наиболее пригодные для широкополосного усиления пентоды (6Ж4, 6Ж1П и др.) имеют «широкополосность» порядка 50—60 *Мгц*, т. е. от каскада можно получить коэфф. усиления 10 при полосе 5—6 *Мгц*; если же требуется полоса 10 *Мгц*, то коэфф. усиления не превышает 5—6. Поскольку от У. ш. обычно требуется полоса пропускания порядка единиц *Мгц*, их отличит. особенностью являются малые коэфф. усиления отдельных каскадов (малые сопротивления анодных нагрузок). Для создания общего большого усиления приходится составлять У. ш. из цепочки каскадов, число к-рых может доходить до 10—15, а в отдельных случаях (напр., в телевизионных студиях) до неск. десятков. С увеличением числа каскадов общая полоса усиливаемых частот уменьшается (время установления и спад плоской части импульсов возрастают), и для сохранения приемлемой общей полосы пропускания необходимо расширять полосы отдельных каскадов, т. е. уменьшать и без того малые коэфф. усиления. Для увеличения произведения $Kf_в$ широко используется коррекция переходной хар-ки У. ш. В усилит. каскаде с коррекцией времени установления и спада плоской части импульса (рис. 2,*б*) индуктивность L является элементом т. н. простой паралл. схемы коррекции фронта импульса. Вместо с сопротивлением нагрузки $R_а$ и емкостью $C = C_{вых} + C_м + C_{вх}$ она образует паралл. колебат. контур, компенсирующий падение усиления в области ВЧ. Параметры схемы коррекции обычно выбирают так, чтобы добротность этого контура Q не превышала единицу (на практике $Q = 0{,}5$—$0{,}7$). Значение $Q = 0{,}5$ соответствует режиму перехода контура от апериодич. к колебательному. Если $Q > 0{,}5$, на вершине выходного импульса появляется выброс. Схема простой паралл. коррекции позволяет при $Q = 0{,}5$ увеличить произведение $Kf_в$ на 41% по сравнению с каскадом без коррекции, при $Q = 0{,}64$ — на 72%, при $Q = 0{,}71$ — на 80%. При

дальнейшем увеличении Q время установления уменьшается незначительно, а выброс становится недопустимо большим (напр., значению Q=0,9 соответствует выброс около 20%). Индуктивность корректирующей катушки определяется при выбранной величине Q по ф-ле $L=Q^2R^2_3C$. На практике находят применение также сложные схемы коррекции, позволяющие получить бо́льшее произведение $Kf_в$, чем в схеме с простой паралл. коррекцией. Действие сложных схем коррекции основано на взаимодействии неск. (более 2) реактивных элементов. Примером может служить видоизменение схемы рис. 2,*б*, при к-ром катушка индуктивности L включается последовательно с переходной цепочкой $C_с$—$R_с$. За счет взаимодействия 3 реактивных элементов (индуктивности L, паразитной емкости C_1 части схемы левее катушки, паразитной емкости C_2 части схемы правее катушки) и нагрузки R_3 удается увеличить произведение $Kf_в$ по сравнению со схемой без коррекции в 2,2 раза при выбросе менее 6% (при таком же выбросе в случае применения простой паралл. коррекции с Q=0,71 произведение $Kf_в$ увеличивается в 1,8 раза). Недостатком сложных схем коррекции является сильная зависимость их свойств от величин параметров, в результате к-рой даже малое отличие параметров от расчетных приводит либо к увеличению времени установления, либо к увеличению выброса. Низкочастотные искажения в У. ш. корректируются с помощью фильтров, содержащих один или неск. реактивных элементов. Наибольшее распространение получила схема с *фильтром RC* в анодной цепи (элементы $C_ф$ и $R_ф$ на рис. 2,*б*). В такой схеме условие компенсации спада плоской части импульса выражается соотношением $R_3C_ф=R_сC_с$. С помощью фильтра $C_ф$—$R_ф$ корректируется также спад плоской части импульса, к-рый происходит из-за влияния цепи автоматич. смещения $C_к$—$R_к$ и цепи питания экранирующей сетки $C_э$—$R_э$. Кроме того, фильтр $C_ф$—$R_ф$ служит для устранения обратной связи через источник питания и уменьшения пульсаций напряжения этого источника.

В качестве активных элементов У. ш. наряду с электронными лампами широко применяются полупроводниковые триоды. В каскадах предварит. усиления используется схема включения с общим эмиттером, в выходных и буферных каскадах — схема с общим коллектором (эмиттерный повторитель). Каскады на транзисторах с общей базой применяются в У. ш. редко, т. к. они обладают весьма малым входным сопротивлением. В схеме усилит. каскада с общим эмиттером (рис. 3) $C_с$—переходная емкость; сопротивления R_1, R_2, $R''_э$, $R_к$ — элементы цепи питания по постоянному току и температурной стабилизации рабочей точки ($R_к$ одновременно является нагрузкой каскада по переменному току);

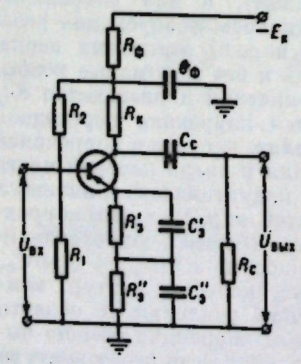


Рис. 3. Каскад У. ш. на транзисторе с общим эмиттером.

$C''_э$ — блокировочный конденсатор, предназначенный для устранения обратной связи по переменному току; $R'_э$, $C'_э$ и $R_ф$, $C_ф$ — элементы коррекции. Наиболее характерным для У. ш. на транзисторах является случай, когда поведение усилителя в области верхних частот определяется в основном свойствами транзистора, а не характером его нагрузки. При этом емкостью, шунтирующей нагрузку, можно пренебречь и частотная хар-ка каскада в верхних частотах зависит гл. обр. от коэфф. усиления транзистора по току в схеме с общим эмиттером $\alpha_э$ (граничной частоты усиления по току в схеме с общим эмиттером $f_{\alpha_э}$). Обычно $f_{\alpha_э}$ на один или два порядка ниже граничной частоты усиления в схеме с общей базой $f_{\alpha б}$. Частота $f_{\alpha_э}$ должна быть по крайней мере в неск. раз больше требуемой полосы пропускания (имеющей порядок $0{,}35/t_у$, где $t_у$ — время установления импульса). Свойства У. ш. на транзисторах в области НЧ, так же как и ламповых У. ш., зависят от параметров разделит. цепочки межкаскадной связи; параметры самих транзисторов в этом диапазоне не зависят от частоты. Коррекция НЧ (плоской части импульса) в У. ш. на транзисторах обычно осуществляется с помощью коллекторного резистатно-емкостного фильтра $C_ф$—$R_ф$ (рис. 3), аналогичного фильтру в анодной цепи лампового каскада. Коррекция ВЧ (фронта импульса), так же как и в ламповых схемах, может производиться с помощью схемы простой паралл. коррекции (корректирующая индуктивность включается последовательно с коллекторной нагрузкой) и различных схем сложной коррекции. Весьма часто коррекция фронта импульса осуществляется путем использования эмиттерной противосвязи (элементы $R'_э$ и $C'_э$ на рис. 3). Каскады с эмиттерной противосвязью находят широкое применение в многокаскадных У. ш., т. к. они обладают повышенным входным сопротивлением (тем большим, чем больше сопротивление $R'_э$) и поэтому позволяют согласовать соседние каскады без применения буферных каскадов. У. ш. с использованием в качестве активных элементов соврем. транзисторов имеет примерно такие же полосы пропускания и коэфф. усиления, как У. ш. на электронных лампах.

В последние десятилетия разработаны У. ш. с распределенным усилением, напр. усилитель бегущей волны (см. *Усилитель с распределенными параметрами*), в к-ром паразитные шунтирующие емкости ламп и монтажа, ограничивающие возможности обычных схем, являются рабочими элементами усилителя. Усилит. каскады таких У. ш. состоят из двух искусств. длинных линий, в к-рых в качестве сосредоточ. емкостей используются соответственно входные и выходные емкости неск. ламп (вместе с монтажными емкостями). Параметры линий выбирают так, чтобы скорость распространения колебаний вдоль сеточной и анодной линий была одинаковой; коэфф. усиления каскада определяется соотношением $K_б=\frac{n}{2}S\rho_а$, где n—число ламп в каскаде, S—крутизна лампы, $\rho_э$— волновое сопротивление анодной линии. Заданное усиление в многокаскадном усилителе при миним. числе используемых ламп обеспечивается в том случае,

когда коэфф. усиления каждого каскада равен основанию натур. логарифмов $e\approx2{,}71\ldots$

Лит.: Лурье О. Б., Усилители видеочастоты, М., 1955; Билик Г. И., Широкополосные усилители, 2 изд., М.—Л., 1956; Расчет и проектирование импульсных устройств на транзисторах, М., 1964; Расчет транзисторных цепей, пер. с англ., М.—Л., 1964. *Л. Л. Москвитин.*

УСИЛИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКИЙ (electrometer amplifier; amplificateur électrométrique; elektrometrischer Verstärker) — усилитель для измерений крайне слабых токов; применяется в физике, химии, астрономии и др. с целью измерения пост. или медленно изменяющихся токов порядка 10^{-14}—10^{-16} *а*, или малых количеств электричества в условиях очень больших внутр. сопротивлений источника порядка 10^{15}—10^{18} *ом*. У. э. должен иметь высокую чувствительность, большое входное сопротивление, малую входную емкость, малое время успокоения, стабильность. Большое входное сопротивление позволяет включать в цепь измеряемого тока большие сопротивления (порядка 10^{12} *ом*), обеспечивая достаточное для измерения падение напряжения. Несмотря на большие сопротивления во входной цепи, благодаря малой входной емкости постоянная времени имеет малые значения, что позволяет производить измерения в течение небольших промежутков времени (порядка сек.). Достаточное усиление, даваемое У. э., позволяет применять в качестве индикатора сравнительно грубые гальванометры, имеющие малое время успокоения. Главная причина нестабильности У. э. заключается в *дрейфе нулевого уровня*. Осн. элемент У. э.— специальная электрометрич. лампа, от к-рой требуется миним. величина сеточного тока, что обеспечивает большое входное сопротивление и малый уровень шумов, связанных с флуктуациями сеточного тока. Наименьшая величина измеряемого тока, определяемая из условия достаточного превышения над уровнем шумов, может быть оценена по ф-ле $I_{мин}\cong3\cdot10^{-8}\sqrt{I_с|R_{вх}C_{вх}}$ (*а*), где $I_с$— ток сетки, а $R_{вх}$ и $C_{вх}$ — сопротивление на входе У. э. и его входная емкость. Сеточный ток лампы обусловлен следующими факторами: электронами, попадающими на сетку с катода; положит. ионами, образующимися вследствие ионизации молекул газа; термоэмиссией сетки за счет нагревания ее излучением катода; фотоэмиссией сетки под действием света, проникающего в лампу извне, света, излучаемого катодом, мягких рентгеновских лучей, испускаемых анодом; фотонами, испускаемыми возбужденными молекулами газа; оседанием на сетке положит. ионов, эмиттируемых катодом. Для устранения всех причин, снижающих входное сопротивление электрометрич. ламп, вывод сетки выполняется через купол баллона лампы; баллон покрывается спец. изолирующими составами; вблизи цоколя помещается проводящее охранное кольцо, имеющее потенциал, равный ср. рабочему потенциалу сетки; катоды работают при низкой темп-ре (750—900°К); лампы защищаются от воздействия света; устанавливается низкое анодное напряжение (5—7, иногда до 10 *в*). Для увеличения крутизны, резко снижающейся при столь малых анодных напряжениях, между катодом и управляющей сеткой вводится дополнит. сетка, наз. часто катодной или защитной сеткой, имеющая положит. потенциал, равный неск. *в*, благодаря чему эффективная поверхность катода увеличивается. Характерные параметры электрометрич. ламп имеют значения: крутизна S=20—300 *мка/в*, анодный ток I_a=40—500 *мка*, статич. коэфф. усиления μ=1—2, сеточный ток $I_с=10^{-7}$—10^{-9} *мка*. Наряду с наиболее распространенными электрометрич. тетродами с катодной сеткой существуют электрометрич. триоды, а также «платионы», состоящие из катода и симметрично расположенных относительно него двух пластин, из к-рых одна служит управляющим электродом, а другая — анодом.

Главная проблема при построении схем У. э. на электрометрич. лампах — уменьшение дрейфа, обусловленного непостоянством питающих напряжений и параметров лампы. В качестве схемы У. э., имеющей наименьший дрейф, наиболее распространена мостовая схема, в к-рой 3 плеча моста образуются активными сопротивлениями, а в 4-е включена электрометрич. лампа. Для уменьшения дрейфа, обусловленного непостоянством напряжений, все напряжения в схеме берутся от одного общего источника, питающего цепь накала лампы, а рабочие точки по всем электродам выбираются в области, наименее критичной к питающим напряжениям. Достигнутые миним. значения дрейфа нуля составляют ок. 10^{-7} *мка/ч* по току и 10 *мкв/ч* по напряжению. В целях перехода к более удобным в эксплуатации грубым гальванометрам применяются многокаскадные У. э., состоящие из входного электрометрич. каскада и *усилителя постоянного тока*. В таких У. э. для уменьшения входной емкости с целью уменьшения постоянной времени входной цепи возможно применение глубокой отрицат. обратной связи. Из-за трудностей большого усиления пост. тока применяются У. э., в к-рых измеряемое пост. напряжение преобразуется в переменное и затем усиливается усилителем переменного напряжения.

Осн. направлением совершенствования У. э. является повышение их чувствительности и стабильности.

Лит.: Бонч-Бруевич А. М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, 4 изд., М., 1956; Эрглис К. Э., Степаненко И. П., Электронные усилители, М., 1961. *И. М. Коган.*

УСИЛИТЕЛЬ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ [electromechanical amplifier; amplificateur électro-mécanique (amplidyne); elektromechanischer Verstärker] — устройство, в к-ром при помощи вспомогат. источника электрич. энергии осуществляется усиление слабых электрич. сигналов; усиленные выходные сигналы имеют характер механич. линейных или угловых перемещений, или электрич. токов. Для У. э. типична органическая связь электрич. усилителя и механич. двигателя (или устройства, в к-ром происходит перемещение элемента, управляющего параметром электрич. цепи). Примерная схема распределения У. э. по принципу действия приведена на рис. 1.

Наиболее распространены аналоговые электромашинные усилители (ЭМУ) пост. и перем. токов продольного и поперечного полей, классификация к-рых дана на рис. 2. ЭМУ имеют коэфф. усиления от 10^2 (перем. тока) до 10^7 (с подмагничиванием); постоянная времени $\geqslant$0,01 сек. ЭМУ используются в следящих САР, где в переходных режимах имеют место значит. перегрузки, стойкость к к-рым можно

предусмотреть при проектировании ЭМУ. Распространение получили ЭМУ спец. конструкции: «магникон» — регулятор с поперечным полем; «автодин» — одноякорный преобразователь перем. тока неизменного напряжения и частоты в пост. ток с большим диапазоном регулирования напряжения; ЭМУ с подмагничиванием. Наличие коллекторов со щеточными контактами — слабое место в ЭМУ — приводит в отдельных установках к замене их статич. магнитными усилителями

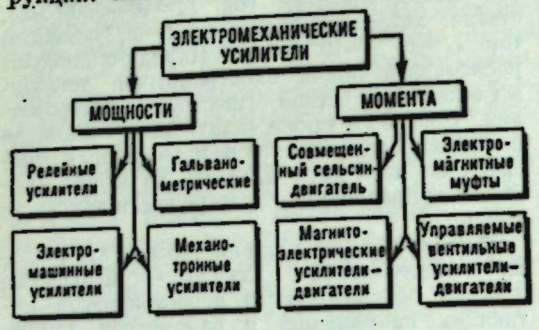


Рис. 1.

двойной призмы $П$. Одна половина разделит. грани посеребрена. Зеркало отражает часть пучка света на фотоэлемент $Ф_1$, а 2-я часть пучка, прошедшая через прозрачную часть разделит. призмы, попадает на фотоэлемент $Ф_2$. При повороте зеркальца гальванометра соответственно изменяется распределение света пучка между фотоэлементами; последние образуют балансную схему, в к-рую включается вторичный гальванометр.

Заслуживает упоминания также и механотронный усилитель, в к-ром относительно слабые токи вызывают перемещение подвижного управляющего электрода *механотрона* с целью регулирования анодного тока последнего. Схема одного из вариантов такого усилителя приведена на рис. 4. Это усилитель с внутренним электромеханич. преобразователем, основным элементом к-рого служит пост. магнит $М$, укрепленный на крутильном подвесе $П$. На магните укреплен подвижный управляющий электрод $Э$ механотрона. Вне последнего размещена катушка $К$, в к-рой течет усиливаемый ток.

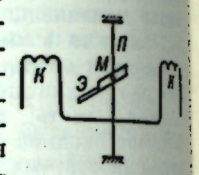


Рис. 4.

У. э. момента применяются в качестве выходных устройств приборов и средств автоматизации, а также используются для создания позиционеров (устройства для увеличения перестановочного усилия задвижки или регулирующего клапана в электрич., гидравлич. или пневматич. САР), следящих систем и исполнит. устройств. Широко распространены электромагнитные муфты, к-рые различаются: а) по роду связи с силовым двигателем — с механич. связью (ферропорошковые); с связью через поле (магнитные, магнитогистерезисные, конденсаторные); б) по виду управления — с электромагнитным; магнитоэлектрическим; электродинамическим (асинхронные-индукционные); с электростатическим; комбинированного действия. На базе применения в исполнит. устройствах быстродействующих индукционных муфт удалось создать следящие системы, обладающие высокой статич. и динамич. точностью.

Рис. 2.

Успешно используется в средствах автоматизации (а также в качестве позиционера и исполнит. механизма малой и средней мощности) совмещенный сельсин-двигатель, имеющий в одной машине сельсин, двухфазный асинхронный двигатель с полым ротором и редуктор, связывающий ось двигателя с сельсином (рис. 5).

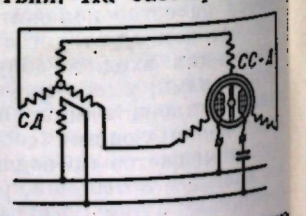


Рис. 5. Схема усиления момента совмещенным сельсином-датчиком: *СД* — сельсин-датчик; *СС-Д* — совмещенный сельсин-двигатель.

или применению релейных усилителей мощности, коммутац. узлы которых выполняются бесконтактными, с использованием магнитных и ПП элементов.

К числу У. э. относятся также и гальванометрич. усилители (ГУ), в к-рых осуществляется преобразование слабых токов (или малых напряжений в токи) для получения больших отклонений вторичных приборов. Применение ГУ позволяет существенно повысить чувствительность измерителей слабых токов и малых напряжений, а также снизить в значит. степени постоянную времени измерит. устройства, как следствие использования приборов с относительно большими значениями противодействующих моментов.

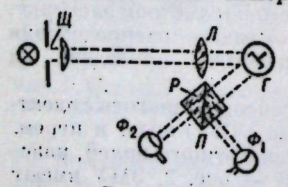


Рис. 3.

На рис. 3 приведена оптич. схема ГУ. Щель $Щ$ проектируется линзой $Л$ и зеркальцем гальванометра $Г$ на середину разделит. грани $Р$

Наиболее перспективен У. э.— вентильный усилитель-двигатель с применением управляемых кремниевых *тиристоров* (см. также *Механический усилитель мощности*).

Лит.: Горянинов Ф. А., Электромашинные усилители, М.—Л., 1962; Копылов И. П., Поляк Л. М., Радин В. И., Дифференциальный электромашинный усилитель с подмагничиванием, «Научн. докл. высшей школы. Электромеханика и автоматика», 1958, № 1; Гончарский Л. А., Механически управляемые электронные лампы, М.—Л., 1957; Клубникин П. Ф., Быстродействующие индукционные муфты в системах автоматического регулирования, М., 1962; Копылов И. П., Двигатель-усилитель постоянного тока, «Э-во», 1959, № 1; Свечарник Д. В., Сельсины и их применение в системах автоматизации производственных процессов, М.—Л., 1962.

Д. С. Гафанович, Л. А. Гончарский.

УСИЛИТЕЛЬ-АВТОДИН (amplidyne amplifier; autodyne; Autodyn-Verstärker) — электромашинный усилитель (ЭМУ), представляющий собой управляемый одноякорный преобразователь, преобразующий непосредственно с помощью единств. магнитной системы мощность трехфазного тока сети в мощность постоян. тока. Изобретен венгерским академиком О. В. Бенедиктом, к-рый 23 года жил и работал в СССР. В отличие от др. ЭМУ, У.-а. не нуждается в приводном двигателе. От одноякорного преобразователя У.-а. отличается тремя характерными особенностями.

1) Поток возбуждения не имеет определ. направления в пространстве, а может занимать любое желаемое положение, т. к. направление мдс (магнитодвижущей силы) возбуждения всегда автоматически совпадает с любым направлением указанного потока. Рис. 1, выполненный, как и остальные рисунки, без учета внутр. потерь и падений напряжений, к-рыми можно пренебречь, показывает один из примеров осуществления этого принципа. На статоре расположены две обмотки возбуждения, из к-рых $W'_в$ питается поперечной эдс E, $W_в$ — продольной эдс E' коллектора. Мдс этих обмоток $AW'_в$ и $AW_в$ совместно создают результирующую мдс возбуждения, вектор $AW_{в\,рез}$ к-рой составляет с продольной осью угол β'. Если обозначим угол между продольной осью и вектором $Ф_{1рез}$ потока возбуждения через β и учтем, что $Ф_{1рез}$ перпендикулярен к векторам фазового напряжения сети $\overline{U}_{1рез}$ и результирующей эдс фазы $\overline{E}_{1рез}$, балансирующих друг друга, и что эдс E и E' так относятся друг к другу, как поперечная и продольная составляющие вектора $E_{1рез}$, то получим $\mathrm{tg}\beta' = AW_в/AW'_в = E'/E = \mathrm{tg}\beta$, т. е. вектор $AW_{рез}$ всегда автоматически совпадает по направлению с вектором $Ф_{1рез}$, к-рый поэтому (как и жестко с ним связанные векторы $U_{1рез}$ и $E_{1рез}$) может занимать любое положение в пространстве, вследствие чего и выходная (рабочая) электродвижущая сила может иметь любую величину в пределах $\pm E_{макс}$.

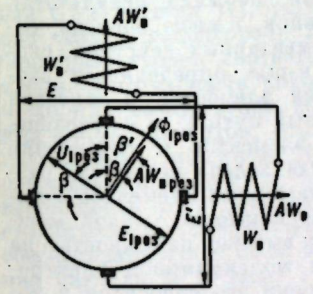


Рис. 1.

2) У.-а. имеет специфич. способ управления величиной E, к-рый для общего случая показан на рис. 2. Опустим ради простоты все внутр. моменты, как, напр., трения и т. д. В таком случае ротор, вращающийся по указанному направлению с синхронной скоростью n_c, сохраняет ее по инерции, вследствие чего положение вектора $U_{1рез}$, а потому и величины β, и E остаются постоянными. Теперь допустим, что в указанной обмотке управления $W_у$ (обмотки возбуждения $W_в$ и $W'_в$ для простоты на рис. 2, 3 и 4 не указаны) небольшой ток вызывает направленную вниз мдс управления $-\Delta AW'_у$. Т. к. роторная обмотка через сеть замкнута накоротко, то она получает от сети ток $+\Delta I'_1$, мдс к-рого практически компенсирует мдс $-\Delta AW'_у$. Ток $+\Delta I'_1$ создает с продольной слагающей напряжения $U_{1рез}$ соответствующий вращающий момент $+\Delta m$, увеличивающий скорость n_c на $+\Delta n$, вследствие чего векторы поворачиваются на угол $+\Delta\beta$, а величина E уменьшается на $-\Delta E$. При появлении в обмотке $W_у$ направленной вверх мдс $+\Delta AW'_у$ происходит аналогичный процесс с обратными знаками. Т. о., с помощью мдс $\pm\Delta AW'_у$ можно управлять величиной E, причем отношение отдаваемой мощности EI к сравнительно небольшой мощности, необходимой для создания мдс $\Delta AW'_у$, определяет степень усиления по мощности У.-а., действующего, как указано выше, в качестве ЭМУ.

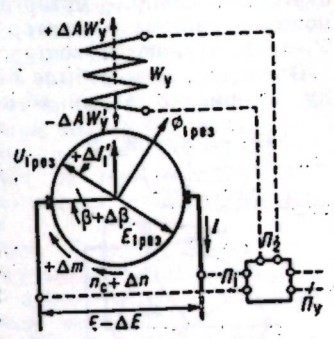


Рис. 2.

3) Если этот ЭМУ является частью замкнутой системы, он может придавать последней внутр. автоматизм. Если, напр., прямоугольник на рис. 2 представляет собой любую схему, в к-рой $П_1$ — входной, а $П_2$ — выходной параметры, причем $П_1$ является ф-цией от E, а $\Delta AW'_у$ — ф-цией от $П_2$, то, осуществляя отрицат. обратную связь ($\mp\Delta E$ вызывает мдс управления $\pm\Delta AW'_у$), можем обеспечить стабильную работу всей системы. Если, в частности, схема такова, что $П_2 = П_1 - П_у$, где $П_у$ — к.-л. заданный (и при этом регулируемый) параметр уровня, то указанная система стабилизируется по закону $П_1 = П_2$, при котором $\Delta AW'_у$ и Δm равны 0.

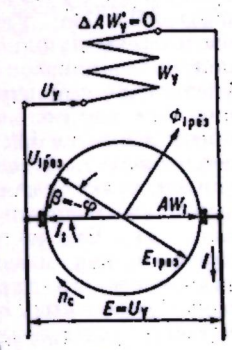


Рис. 3.

В качестве примеров конкретных схем выпускаемых пром-стью У.-а. укажем только на следующие. В автодине (рис. 3) обмотка управления $W_у$ включена на разность эдс E и заданного и регулируемого напряжения уровня $U_у$. Т. к. при стационарной работе должно быть $\Delta AW'_у = 0$, машина стабилизирует

E автоматически по закону $E=U_y$. Подобные У.-а. могут использоваться не только в качестве ЭМУ, но и взамен др. преобразоват. агрегатов (напр., моторгенераторной установки в системе генератор-двигатель). Такие У.-а. выпускаются венгерской пром-стью.

Очевидно, можно было бы заменить обмотку на рис. 3 двумя обмотками, из к-рых в одной только эдс E вызывает мдс, направл. вниз, а в другой только напряжение U_y вызывает противоположную по направлению и равную по величине мдс. Так составлена схема У.-а. (рис. 4), где обмотка W_y заменена обмоткой W_1, в к-рой ток нагрузки I вызывает мдс IW_1, направл. вниз, и обмоткой W_2, в к-рой заданный и регулируемый ток уровня i_y вызывает противоположную мдс i_yW_2. Такие У.-а, регулирующие тоже на $\Delta AW_y=0$, т. е. по закону $I=i_y(W_2/W_1)$, выпускаются Ярославским ЭМЗ и используются для зарядки железнодорожных аккумуляторных батарей, причем обеспечивается желаемая величина тока I, несмотря на изменение напряжения $U_{АБ}$ батарей АБ.

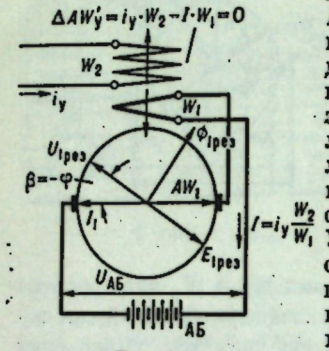


Рис. 4.

Преимущества У.-а. по сравнению с двигатель-генераторными агрегатами: наличие одной машины вместо двух или даже трех (когда заменяется также возбудитель); автоматичность действия; значительно более высокий кпд. Как видно из рис. 3 и 4, переменный ток нагрузки I_1, к-рый в роторе противоположен мдс AW_1, вызванной постоянным током нагрузки I, опережает напряжение сети $U_{1рез}$ на угол $\beta=-\varphi$, вследствие чего У.-а. одновременно со своей работой в качестве ЭМУ и преобразователя активной мощности выполняет также ф-цию фазокомпенсатора, отдающего в сеть опережающий ток, величина к-рого одного порядка с величиной отстающего тока, потребляемого асинхронным двигателем аналогичной мощности. *О. В. Бенедикт* (*O. Benedikt*).

УСИЛИТЕЛЬНЫЙ КАСКАД, усилительная ступень (amplifier stage; cascade d'amplification; Verstärkerstufe),— схема или часть схемы на одной электронной лампе (или полупроводниковом приборе), обеспечивающая увеличение амплитуды подводимого напряжения тока или мощности электрич. сигнала без преобразования частоты колебаний. Цепочка последовательно соединенных У. к. образует усилит. тракт усилителя. У. к. является частным случаем активного нелинейного *четырехполюсника*. Однако практически У. к. рассматривается как квазилинейная система. Нелинейность его хар-к в рабочем диапазоне частот может быть сведена к допустимому минимуму за счет соответствующего выбора режима работы лампы, а также эффективного применения методов коррекции хар-к. Усиление сигнала в У. к. производится за счет управления энергией, поступающей на электронную лампу или полупроводниковый прибор от местного источника питания.

В зависимости от назначения У. к. подразделяются на усилители напряжения (тока) и *усилители мощности*. В зависимости от диапазона рабочих частот и характера построения принципиальной схемы У. к. делятся на *усилители низкой частоты*, *усилители промежуточной частоты*, *усилители высокой частоты*, *усилители сверхвысокой частоты*, *усилители на дросселях*, *усилители на сопротивлениях*, *усилители на трансформаторах*. Усилитель мощности обычно применяется в качестве оконечного каскада в радиоустройствах. По роду нагрузки лампы или полупроводникового прибора У. к. подразделяются на *усилители апериодические* и *усилители резонансные*.

Основными хар-ками У. к. любого типа являются *амплитудная частотная характеристика*, *амплитудная фазовая характеристика* и *переходная характеристика*. Первые две определяют комплексный коэфф. усиления У. к. по модулю и фазе для установившегося режима при усилении гармонич. колебаний, а третья — работу У. к. в импульсном режиме.

Ю. Б. Любченко.

УСКОРЕНИЕ ОПЕРАЦИЙ (speeding up of operations; accéleration des opérations; Operationsbeschleunigung) — один из осн. методов повышения быстродействия ЦВМ; различают технич. (схемный или аппаратурный) и логич. (структурный) пути У. о. Скорость выполнения отд. команды программы, решаемой на машине, зависит от скорости выполнения ее этапов (выборка кода команды, подготовка команды, выборка исходных операндов, выполнение операции, посылка результата). Каждый из этих этапов, в свою очередь, состоит из набора элементарных действий, скорость выполнения к-рых определяется скоростью переключения элементов и тактовой частотой. Осн. схемный путь У. о.— увеличение быстродействия элементов и повышение тактовой частоты. Эта задача решается разработкой микроминиатюрных элементов с высокой скоростью переключения, малой мощностью рассеивания и высокой надежностью на основе пленочной и молекулярной электроники. В равной степени это относится к повышению быстродействия запоминающих и внешних устройств ЦВМ за счет использования новых физич. принципов и совершенствования конструктивного выполнения. Др. схемный путь У. с.— уменьшение времени выполнения отдельных операций за счет аппаратурных затрат, напр. сокращение времени сложения введением цепей сквозного и группового переноса, ускорение процесса умножения за счет введения регистра для запоминания переносов, ускорение операции модификации команд введением сумматора адреса и индексных регистров, ускорение процесса ввода — вывода применением схем буферного запоминания (накопления). Условно сюда можно отнести применение асинхронного принципа управления, когда отдельные устройства машины имеют блоки местного управления.

Логический (структурный) путь У. о. состоит в совмещении различных операций и действий, выполняемых различными блоками и устройствами машины (см. *Совмещение операций в машине*). Напр., несколько медленодействующих устройств могут одновременно обслуживаться одним быстродействующим

устройством. Применяются также различные виды многоступенчатой памяти, ступени к-рой имеют разные времена обращения и независимые системы обращения. При этом для работы с АУ выделяется сверхбыстродействующая оперативная память малой емкости (напр., 64 ячейки) с малым временем выборки, а для работы с остальными устройствами — несколько независимо работающих блоков памяти большего объема, но меньшего быстродействия. Наконец, У. о. достигается при многопрограммной обработке данных, когда машина представляет по существу систему параллельно работающих машин. *Г. Б. Смирнов.*

УСЛОВНОЙ ВЕРОЯТНОСТИ МАШИНА (conditional probability machine; machine à probabilité conditionnelle; Zufallsgenerator) — автомат, который способен устанавливать корреляционные связи между внешними сигналами и изменять в соответствии с этими связями свое поведение. Реакция У. в. м. на внешний сигнал зависит от условной вероятности появления этого сигнала при наличии в данный момент др. сигнала. У. в. м. может, т. о., вырабатывать «условные рефлексы», а также распознавать пространств. изображения и предсказывать события (напр., положения движущихся объектов). Пришедший в У. в. м. сигнал K, часто совпадавший в прошлом с событием J [это значит, что условная вероятность $p(J/K)$ велика], вызовет реакцию, подобную той, которая возникает под воздействием J («безусловного раздражителя»).

Принципиальная схема У. в. м., предложенная О. М. Аттли [1], такова. Машина имеет ряд входов (рецепторов). Всевозможным комбинациям входов соответствуют центр. элементы. Возбуждение такого элемента имеет место при возбуждении всех входов, связанных с этим элементом. Эта часть У. в. м. наз. классификац. машиной. Кроме того, каждый центральный элемент J вычисляет и хранит вероятность $p(J)$ появления возбуждающего его сигнала J. Посредством спец. соединений обеспечивается осн. св-во У. в. м.: при появлении сигнала K элемент J содержит не $p(J)$, а условную вероятность $p(J/K)=p(J\cup K)/p(K)$. Для этого должно существовать соединение элементов $(J\cup K)$ и K, позволяющее вычислять отношение их содержимых, а также соединение $(J\cup K)$ и J, передающее это отношение элементу J. Функционирование этих соединений должно подчиняться определ. правилам: 1) при возбуждении элемента J в нем сохраняется вероятность сигнала J, равная единице; 2) при отсутствии каких бы то ни было внешних сигналов элемент J содержит безусловную вероятность своего возбуждения; 3) при появлении к.-л. сигнала K в элементе J появляется условная вероятность $p(J/K)$.

В том случае, когда эффекторные механизмы У. в. м. приходят в действие при превышении вероятностью данного события нек-рого порогового значения и действуют по принципу «все или ничего», строение машины может быть упрощено. Необходимо вычислять лишь нек-рый двоичный знак, напр. 0, если $p(J/K)<p_{порог}$, и 1, если $p(J/K)\geqslant p_{порог}$. Такая машина наз. машиной условной достоверности. В простейшем виде принцип машины условной достоверности осуществлен в «черепахе» австр. ученого Э. Эйхлера (1955). «Черепаха» реагирует на прикосновение (столкновение с препятствием), выполняя обходный маневр, и на звук (кратковрем. остановка — «замирание»). При совпадении прикосновения и звука ток уменьшается через обмотку реле, препятствующего выполнению обходного маневра при одном лишь воздействии звука, при несовпадении — ток увеличивается. Поэтому при достаточно частом совпадении этих воздействий (т. е. при большой условной вероятности прикосновения при наличии звука) «черепаха» реагирует на звук так же, как на прикосновение,— выполняет обходный маневр.

Классификац. часть У. в. м. может быть построена путем случайных соединений. Подобная структура используется в персептроне (см. *Узнающая машина*).

Лит.: 1) Аттли О. М., Машины условной вероятности и условные рефлексы, в сб.: Автоматы, пер. с англ., М., 1958; 2) его же, Временные и пространственные изображения в машине условной вероятности, там же; 3) Гаазе-Рапопорт М. Г., Автоматы и живые организмы, М., 1961.

Л. Б. Левитин.

УСПОКОЕНИЯ ВРЕМЯ [transient period, damping time; durée de stabilisation (d'amortissement); Beruhigungszeit, Dämpfungszeit] — промежуток времени от момента резкого изменения измеряемой прибором величины, вызвавшего перемещение указателя на половину длины шкалы, до момента, когда показания прибора будут отличаться от установившегося значения не более чем на 1% от длины шкалы. Для большинства электроизмерит. приборов У. в. не превышает 4 сек. (для электростатич., термоэлектрич. приборов и приборов с подвижной частью на растяжках 6 сек.). У. в. определяется экспериментально секундомером при визуальном наблюдении за показаниями прибора. Имеются приборы, у к-рых У. в. не должно превышать долей сек. и его эксперимент. определение производится более сложным методом при помощи осциллографа. У. в. зависит от *успокоения степени* колебаний подвижной части прибора и связано с *успокоения характером*.

М. Х. Шлиомович.

УСПОКОЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТ [attenuation coefficient; constante d'amortissement (d'affaiblissement); Dämpfungsfaktor]—коэфф. пропорциональности P между скоростью перемещения подвижной части измерит. прибора ω и моментом успокоения M_p, создаваемым успокоителями, поглощающими кинетич. энергию движущихся частей для ускорения их остановки в положении равновесия.

Лит.: Арутюнов В. О., Электрические измерительные приборы и измерения, М.—Л., 1958, с. 73, 90.

М. Х. Шлиомович.

УСПОКОЕНИЯ РЕЖИМ (attenuation regime; régime d'amortissement; Dämpfungsverhälten) — см. *Успокоения характер*.

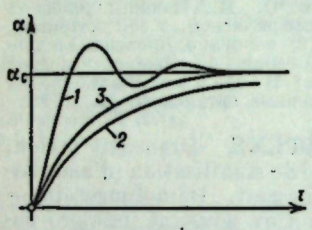
УСПОКОЕНИЯ СТЕПЕНЬ (attenuation degree; degré d'amortissement; Dämpfungsgrad)— параметр, определяющий характер движения подвижной части измерит. прибора и вычисляемый по ф-ле $\beta=P/2\sqrt{JW}$, где P — *успокоения коэффициент*, J — момент инерции подвижной части относительно ее оси вращения, W — удельный противодействующий момент, создаваемый пружиной, растяжками или подвесом. У. с. связана с отношением первого отброса указателя к установившемуся отклонению и может быть вычислена на основании экспериментального определения указанного отношения. Это отношение не должно превышать для самонищущих

электроизмерит. приборов 1,1, а для показывающих 1,5.

Лит.: Арутюнов В. О., Расчет и конструкции электроизмерительных приборов, Л.—М., 1949, с. 48; ГОСТ 1845—59. Приборы электроизмерительные. Общие технические требования. [Приложение]; Ривкин И. Я., Автоматические каротажные станции, М., 1964. *М. Х. Шлиомович.*

УСПОКОЕНИЯ ХАРАКТЕР (attenuation characteristic; allure d'amortissement; Dämpfungscharakter) — режим приближения подвижной части измерительного прибора к положению равновесия при резком изменении измеряемой прибором величины.

Зависит от *успокоения степени* β. В соответствии с тремя видами движения подвижной части У. х. бывает периодическим ($\beta<1$), апериодическим ($\beta>1$) или критическим ($\beta=1$). Зависимость отклонения подвижной части прибора α от времени t при подходе к положению равновесия α_c для этих трех режимов показана на графике соответственно кривыми *1*, *2* и *3* (рис.). Напр., У. х. автоматич. электронных потенциометров и мостов должен быть таким, чтобы указатель устанавливался в положение равновесия не более чем после двух полуколебаний для самопишущих приборов и трех полуколебаний для показывающих приборов.



Лит.: Арутюнов В. О., Расчет и конструкции электроизмерительных приборов, Л.—М., 1949, с. 46—50; ГОСТ 7164—58. Потенциометры и уравновешенные мосты автоматические электронные; Ривкин И. Я., Автоматические каротажные станции, М., 1964. *М. Х. Шлиомович.*

УСТАНОВИВШАЯСЯ ОШИБКА [steady state error; erreur en régime établi (régime permanent); bleibende Regelabweichung] — разность между 2 величинами, одна из к-рых задается требуемым законом ее изменения (регулируемая величина), а другая — *установившимся процессом* — режимом САР. У. о. может быть нулем, пост. величиной или ф-цией времени (напр., гармонической или линейной). Величина У. о. зависит от величины воздействия. При воздействиях, выражающихся в виде полиномов, величина У. о. может быть найдена по коэфф. ошибок. *Р. С. Рутман.*

УСТАНОВИВШЕЕСЯ ДВИЖЕНИЕ (steady state motion; mouvement etabli; stabile Bewegung) — движение материальной системы, находящейся под действием данных сил, которое сохраняется неопределенно долго относительно данной системы отсчета. Следовательно, У. д. происходит по определенной закономерности, причем она сохраняется при данном соотношении внешних сил и внутр. связей в системе. Напр., можно рассматривать У. д. твердого тела по инерции. В автоматич. регулировании часто У. д. принимают за невозмущенное движение; напр., если рассматривают устойчивость движения самолета при отсутствии возмущающих сил, то У. д. считают прямолинейный полет с пост. скоростью. См. также *Установившийся процесс*. *В. С. Косиков.*

УСТАНОВИВШИЙСЯ ПРОЦЕСС (режим) (steady state behaviour; règime établi; stationärer Betrieb) — состояние системы после окончания переходного процесса. При исследованиях У. п. с применением классич. метода решения линейных дифференц. ур-ний реакция линейной системы на управляющее или возмущающее воздействие может быть выражена 2 составляющими: переходной и вынужденной. С течением времени переходная составляющая затухает и система стремится к вынужденному (установившемуся) движению. При пост. воздействиях ур-ния У. п. (алгебраические и часто линейные) наз. ур-ниями статики. Исследование У. п. при медленно меняющихся, по сравнению с импульсной переходной ф-цией, воздействиях характеризует астатизм и точность работы САР, к-рые можно определить с помощью коэфф. ошибок. У. п. при гармонич. воздействиях может быть описан при помощи *амплитудной фазовой характеристики* и *амплитудной частотной характеристики* САР.

В нелинейных САР для исследования У. п. при гармонич. воздействиях применяются *гармонического баланса метод*, *фазовой плоскости метод* и др. *В. С. Косиков.*

УСТОЙЧИВОСТИ БЕСКОНЕЧНОЙ СТЕПЕНИ УСЛОВИЯ, условия конечной длительности переходного процесса (conditions of infinite degree of stability; conditions d'un degré de stabilité infini; Bedingungen für Stabilität im Kleinen), — условия, при соблюдении к-рых переходный процесс в импульсных системах заканчивается за конечное число тактов; при этом все нули характеристич. многочлена (полюсы импульсной передаточной ф-ции замкнутой системы) равны $-\infty$ и характеристич. многочлен принимает вид $G^*(q)=a_0 q^{gl}$. Возможность конечной длительности переходного процесса — ценное отличит. свойство импульсных систем.

Лит.: Цыпкин Я. З., Теория линейных импульсных систем, М., 1963. *Р. С. Рутман.*

УСТОЙЧИВОСТИ ГРАНИЦА (boundary of stability; limite de stabilité; Stabilitätsgrenze) — совокупность точек пространства параметров САР, отделяющих область устойчивости от области неустойчивости. У. г. для линейных систем — часть кривой D-разбиения. На плоскости 2 параметров У. г. состоит из части кривой, определяемой ур-нием $\Delta_{n-1}=0$ (Δ_{n-1} — предпоследний определитель Гурвица) и условиями $\Delta_i>0$, $i=1,2,\ldots,n-2$, и из особых прямых D-разбиения. В случае рассмотрения пространства n параметров У. г. состоит из гиперповерхностей (см. *Устойчивости областей выделение*). В линейной системе, находящейся на У. г., характеристич. ур-ние имеет либо пару чисто мнимых корней $\pm j\omega_0$, либо нулевой корень. В первом случае обращается в нуль Δ_{n-1}, во втором — свободный член характеристич. ур-ния. Амплитудная фазовая хар-ка системы, находящейся на У. г., проходит через критич. точку $(-1,0)$. В системе, находящейся на У. г., наблюдаются колебания с частотой ω_0 и пост. амплитудой, зависящей от величины начальных условий; эти колебания при малейшем изменении параметров системы переходят либо в расходящиеся, либо в затухающие колебания. *Р. С. Рутман.*

УСТОЙЧИВОСТИ ЗАПАС (stability margin; marge de stabilité; Stabilitätsreserve) — величина возможного изменения, абсолютного или относительного, к.-л. параметра САР, к-рое не приводит к потере *устойчивости*.

В линейных системах У. з. можно вычислить, располагая логарифмич. *чувствительностью* $S_\alpha^K(s)$ относительно рассматриваемого параметра α. Если параметр α входит сомножителем в цепь прямого усиления, то относительный У. з.

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha_0}=\frac{1}{\left[S_\alpha^K\left(j\omega_{кр}\right)\right]_{\alpha=\alpha_0}-1},$$

где значение $S_\alpha^K(j\omega)$ вычисляется при номинальном значении параметра $\alpha=\alpha_0$ на критич. частотах $\omega=\omega_{кр}$, обладающих свойством:

$$\left[\operatorname{Im} S_\alpha^K\left(j\omega_{кр}\right)\right]_{\alpha=\alpha_0}=0.$$

Если параметр α входит сомножителем в цепь обратной связи, охватывающей к.-л. звено прямого пути, выражение для У. з. принимает вид:

$$\frac{\Delta\alpha}{\alpha_0}=\frac{1}{\left[S_\alpha^K\left(j\omega_{кр}\right)\right]_{\alpha=\alpha_0}};$$

Рассматривают также У. з. по обобщенным показателям (см. *Устойчивости запас по амплитуде*, *Устойчивости запас по фазе*). *Р. С. Рутман.*

УСТОЙЧИВОСТИ ЗАПАС ПО АМПЛИТУДЕ (amplitude stability margin; marge de stabilité en amplitude; Stabilitätsreserve der Amplitude) — диапазон возможного изменения *добротности* САР, не приводящего к потере *устойчивости*. Определяется по амплитудной фазовой частотной хар-ке разомкнутой системы в ближайших к частоте среза критич. частотах, т. е. частотах ω_k, при к-рых фазовая частотная хар-ка составляет $-180°$ (рис. 1, j — мнимая ось), или по логарифмич. частотным хар-кам [рис. 2, $L(\omega)$ — амплитудная и $\theta(\omega)$ — фазовая хар-ки, γ — запас устойчивости по углу (фазе)]. В последнем случае значение У.з. по а. выражается в *дб*: $L=20\lg h$. Если, как это показано на рис. 1 и 2, имеется два значения ω_{k_1} и ω_{k_2} с обеих сторон частоты среза, то У. з. по а. считается минимальным из значений h_1 и h_2: $h=$миним. (h_1, h_2); $L=$миним. $(\mathscr{L}_1, \mathscr{L}_2)$.

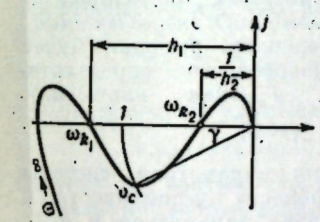


Рис. 1.

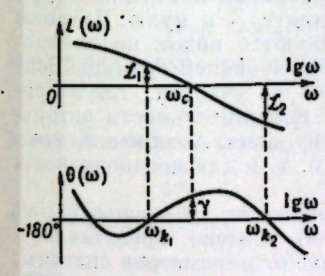


Рис. 2.

У. з. по а. служит косв. хар-кой качества САР и часто включается в число тех. требований на систему. Обычно требуют $L\geqslant 7$ *дб*. *Р. С. Рутман.*

УСТОЙЧИВОСТИ ЗАПАС ПО ФАЗЕ [phase stability margin; marge de phase (marge de stabilité en déphasage); Stabilitätsreserve der Phase] — величина избытка фазы на частоте среза разомкнутой системы; определяет возможное изменение фазы, не приводящее к потере *устойчивости* замкнутой системой. В устойчивой системе У. з. по ф. $\gamma>0$. Служит также косвенной характеристикой качества САР. Для высококачеств. систем У. з. по ф., вычисленный при размыкании главной обратной связи, $\gamma=30—60°$. У. з. по ф. может быть определен по амплитудной фазовой хар-ке разомкнутой системы (рис. 1 в ст. *Устойчивости запас по амплитуде*) или по логарифмич. хар-кам (там же, рис. 2). *Р. С. Рутман.*

УСТОЙЧИВОСТИ КРИТЕРИЙ (stability criteria; critères de stabilité; Stabilitätskriterium) — правила, позволяющие определить устойчивость динамич. системы, минуя вычисление корней характеристич. ур-ния. С помощью этих правил устанавливают устойчивость систем (в т. ч. систем, характеристич. ур-ния к-рых имеют высокий порядок и корни этих ур-ний нельзя вычислить) и выясняют влияние тех или иных параметров и структурных изменений в системе на устойчивость.

Существуют алгебраич. (*Рауса критерий*, *Гурвица критерий*) и частотные (*Найквиста критерий*, *Михайлова критерий*) У. к.

Лит. см. при ст. *Устойчивость*. *В. И. Попов.*

УСТОЙЧИВОСТИ ОБЛАСТЕЙ ВЫДЕЛЕНИЕ (isolation of stability regions; détermination des domaines de stabilité; Abgrenzung der Stabilitätsbereiche) — выделение в пространстве параметров или коэфф. характеристич. ур-ния областей устойчивости системы. Для линейных систем с пост. параметрами разработан метод У. о. в. в плоскости 1 и 2 параметров, к-рый носит назв. *Д-разбиения*; применим в тех случаях, когда интересующие параметры входят линейно в характеристич. ур-ние замкнутой САР. Метод выявляет область, в к-рой система имеет наибольшее число корней, лежащих в левой полуплоскости.

Для У. о. в. системы в плоскости одного параметра w представляют характеристич. ур-ние в виде:

$$Q(\lambda)+wR(\lambda)=0$$

и отображают мнимую ось плоскости корней на плоскость w, считая w комплексным числом:

$$w(j\omega)=-\frac{Q(j\omega)}{R(j\omega)}=U(\omega)+jV(\omega).$$

Задавая значения ω от $-\infty$ до ∞, строят в плоскости U, V границу $Д$-разбиения. Эта граница симметрична относительно действит. оси (рис. 1). Область, при перемещении из которой за пределы чертежа граница $Д$-разбиения пересекается наибольшее число раз, переходя из заштрихованной стороны на незаштрихованную, является претендентом на область устойчивости. В ней выделяют только действит. значения w (точки действит. оси).

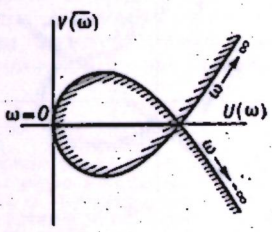


Рис. 1.

Для У. о. в. в плоскости двух параметров μ и δ характеристич. ур-ние приводят к виду:

$$\mu S(\lambda)+\delta Q(\lambda)+R(\lambda)=0.$$

В нем производят замену $\lambda=j\omega$ и, приравнивая нулю действит. и мнимую части, находят из двух полученных ур-ний μ и δ:

$$\mu=\frac{\Delta_1}{\Delta}=\frac{\begin{vmatrix}-R_1(\omega) & Q_1(\omega)\\ -R_2(\omega) & Q_2(\omega)\end{vmatrix}}{\begin{vmatrix}S_1(\omega) & Q_1(\omega)\\ S_2(\omega) & Q_2(\omega)\end{vmatrix}};$$

$$\delta=\frac{\Delta_2}{\Delta}=\frac{\begin{vmatrix} S_1(\omega) & -R_1(\omega)\\ S_2(\omega) & -R_2(\omega)\end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} S_1(\omega) & Q_1(\omega)\\ S_2(\omega) & Q_2(\omega)\end{vmatrix}};$$

где введены обозначения:

$$S(j\omega)=S_1(\omega)+jS_2(\omega);$$
$$Q(j\omega)=Q_1(\omega)+jQ_2(\omega);$$
$$R(j\omega)=R_1(\omega)+jR_2(\omega).$$

Для каждого значения ω, если одновременно не обращаются в нуль Δ и Δ_1 или Δ и Δ_2, на плоскости μ, δ (μ — ось абсцисс, δ—ось ординат) имеем точку. Изменяя ω от $-\infty$ до ∞, получаем кривую — границу *Д*-разбиения. Если указанные выше определители при к.-л. $\omega=\omega_1$ одновременно обращаются в нуль, то в этом случае получают прямую, к-рая наз. особой прямой.

Граница *Д*-разбиения штрихуется слева в тех точках, для к-рых $\Delta>0$, и справа в точках, для к-рых $\Delta<0$. Кривая пробегается дважды: первый раз при изменении ω от 0 до ∞, второй — при изменении ω от $-\infty$ до 0, но штрихуется оба раза с одной и той же стороны, т. к. знак Δ меняется при $\omega=0$ и $\omega=\infty$. Через эти точки чаще всего проходят особые прямые, к-рые наз. концевыми. Они штрихуются один раз (при их пересечении один корень переходит из правой полуплоскости в левую или наоборот) так, чтобы заштрихованные и незаштрихованные стороны границы *Д*-разбиения и особой прямой были направлены друг к другу (рис. 2).

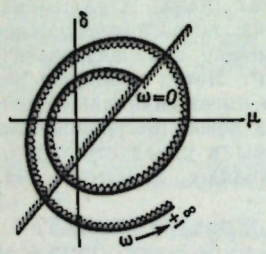


Рис. 2.

Др. особые прямые штрихуются дважды, если Δ в точке, через к-рую проходит особая прямая, меняет знак. Направление штриховки такое же, как и для концевых особых прямых (рис. 3). Если Δ, обращаясь в нуль, не меняет знака, то особая прямая не штрихуется.

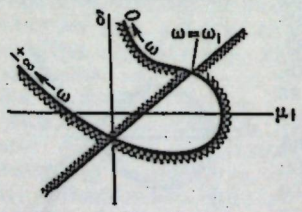


Рис. 3.

Для У. о. в. нелинейных систем с пост. параметрами чаще всего применяются методы точечных преобразований, гармонич. баланса и метод У. о. в. с помощью ф-ций Ляпунова. Метод точечных преобразований применяется для систем 2-го и 3-го порядков с кусочно-линейными ф-циями. Если нелинейные ф-ции являются релейными, то метод применим и к системам с запаздыванием. Для У. о. в. находят ф-ции соответствия и проводят их анализ. Т. о. получают критич. соотношение параметров, при к-ром на диаграмме точечных преобразований либо нет пересечений кривых, либо точка пересечения находится в зоне притяжения континуума устойчивых положений равновесия, либо кривые касаются друг друга и при дальнейшем увеличении эффективности стабилизирующих факторов в системе кривые не имеют точек пересечения и система становится устойчивой. По найденному в общем виде критич. соотношению параметров строят устойчивости области. Напр., пусть условие устойчивости получено в виде:

$$\left(1+\frac{\tau-2\varepsilon}{1-\beta}\right)e^{2\varepsilon-\tau}+\Delta\leqslant 1.$$

Знак равенства соответствует критич. соотношению параметров. Выбирая за координаты τ, ε и β, легко построить границы областей устойчивости при различных значениях Δ.

У. о. в. с помощью метода гармонич. баланса, являющегося приближенным методом, можно производить только для таких нелинейных систем, у к-рых в пространстве параметров вне области периодич. решений, близких к гармоническим, или, по крайней мере, по соседству с ней, нет сложных особенностей типа сепаратрис (кривые, отделяющие траектории различных видов) и т. п., а имеет место либо область устойчивости равновесия при любых начальных условиях, либо область неустойчивости.

Характеристич. ур-ние гармонически линеаризованной нелинейной системы с симметричной однозначной нелинейностью записывают в виде:

$$Q(p)+R(p)\,a(A)=0,$$

где $Q(p)$, $R(p)$ — линейные операторы, а $a(A)$ — *адмитанц (импеданц) эквивалентный*. Условием наличия периодич. решения будет равенство нулю предпоследнего определителя Гурвица (см. *Гурвица критерий*):

$$\Delta_{n-1}=0,$$

где Δ_{n-1} есть ф-ция параметров системы и $a(A)$. Границу области устойчивости в пространстве, напр. двух параметров K и T, можно найти, приравнивая наименьшее (при изменении a) значение Δ_{n-1} к нулю. Пределы изменения a определяются видом нелинейности. Кроме того, из полученной границы должны быть исключены те участки, где не соблюдается условие положительности остальных определителей Гурвица. Аналогично можно производить У. о. в. и для неоднозначных нелинейностей.

У. о. в. можно производить с помощью ф-ций Ляпунова, т. к. они обычно представлены ф-циями в явном виде от параметров системы.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Хайкин С. Э., Андронов А. А., Витт А. А., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959; Попов Е. П., Пальтов И. П., Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем, М., 1960; Лурье А. И., Некоторые нелинейные задачи теории автоматического регулирования, М.—Л., 1951. *В. Ю. Рутковский.*

УСТОЙЧИВОСТИ ОБЛАСТЬ (stability region; domaine de stabilité; Stabilitätsbereich) — совокупность точек в пространстве параметров САР, в которых соблюдается *устойчивость* движения САР (см. также *Устойчивости области выделение*).

УСТОЙЧИВОСТИ СТЕПЕНЬ (degree of stability; degré de stabilité; Stabilitätsgrad) — минимальная по абсолютной величине действит. часть корней характеристич. ур-ния, соответствующего устойчивой линейной системе. У. с. характеризует быстроту затухания переходной составляющей процесса. Определение параметров, обеспечивающих заданную У. с., сводится к определению *устойчивости границы* «смещенного» характеристич. ур-ния, к-рое образуется из исходного характеристич. ур-ния заменой переменной p на $p-\xi$, где ξ — У. с. Так, для характеристич. ур-ния:

$$G(p)=a_0p^n+a_1p^{n-1}+\ldots+a_n=0.$$

Смещенное ур-ние будет иметь вид:

$$G(p-\xi)=A_0p^n+A_1p^{n-1}+\ldots+A_n=0,$$

где

$$A_k=\frac{G^{(n-k)}(-\xi)}{(n-k)!};\quad k=0,\ 1,\ 2,\ldots,\ n.$$

Применяя к этому смещенному ур-нию любые критерии устойчивости, определяют при определенной ξ У. с., к-рая соответствует соотношению между параметрами, обеспечивающему ее заданное значение. *Я. З. Цыпкин.*

УСТОЙЧИВОСТИ ТЕХНИЧЕСКОЙ ТЕОРИЯ движения нелинейных САР (theory of technical stability; théorie de la stabilité technique; Stabilitätstheorie) — базируется на ограничении заданными числами нач. отклонений, возмущающих сил и последующих отклонений для всех значений времени из заданного временно́го интервала. Разработана сов. математиком Н. Д. Моисеевым.

Определение У. т. т. может быть сформулировано след. образом. Пусть задана система дифференц. ур-ний, содержащих в явном виде t:

$$\frac{dx_k}{dt}=X_k(t,\ x_1,\ x_2,\ldots,\ x_n),\qquad (1)$$

где правые части удовлетворяют условию:

$$x_k(t,\ 0,\ 0,\ldots,\ 0)=0.\qquad (2)$$

Система (1) соответствует исследуемой САР.

Пусть, кроме того, заданы: верхние пределы нач. отклонений параметров регулирования

$$\{\overline{x}_{10},\ \overline{x}_{20},\ \ldots,\ \overline{x}_{n0}\};\qquad (3)$$

верхние пределы возмущающих сил:

$$\{\overline{f}_1,\ \overline{f}_2,\ \ldots,\ \overline{f}_n\};\qquad (4)$$

верхние пределы последующих отклонений

$$\{\overline{x}_1,\ \overline{x}_2,\ \ldots,\ \overline{x}_n\};\qquad (5)$$

интервал времени

$$0\leqslant t\leqslant\overline{t}.\qquad (6)$$

Тривиальное решение системы (1):

$$x_1=x_2=\ldots=x_n=0,\qquad (7)$$

наз. обладающим тех. устойчивостью относительно заданных величин (3), (4), (5) и (6) в том, и только в том случае, если всякое решение

$$x_1=x_1(t),\ x_2=x_2(t),\ \ldots,\ x_n=x_n(t)\qquad (8)$$

системы дифференц. ур-ний возмущенного движения

$$\frac{dx_k}{dt}=X_k(t,\ x_1,\ x_2,\ \ldots,\ x_n)+f_k(t)\qquad (9)$$

при всяких нач. значениях $x_{10},\ x_{20},\ldots,x_{n0}$, удовлетворяющих условиям:

$$|x_{10}|\leqslant\overline{x}_{10},\ |x_{20}|\leqslant\overline{x}_{20},\ \ldots,\ |x_{n0}|\leqslant\overline{x}_{n0},\qquad (10)$$

и при произвольных возмущающих силах f_k, ограниченных условиями:

$$|f_1(t)|\leqslant\overline{f}_1,\ |f_2(t)|\leqslant\overline{f}_2,\ \ldots,\ |f_n(t)|\leqslant\overline{f}_n,\qquad (11)$$

будет при любом t из интервала времени $0\leqslant t\leqslant\overline{t}$ удовлетворять условиям:

$$|x_1(t)|\leqslant\overline{x}_1,\ |x_2(t)|\leqslant\overline{x}_2,\ \ldots,\ |x_n(t)|\leqslant\overline{x}_n.\qquad (12)$$

В качестве примера рассмотрим систему, описываемую одним дифференц. ур-нием 1-го порядка:

$$\frac{d\xi}{dt}+\alpha\xi=f(t),\qquad (13)$$

где $|f(t)|\leqslant\overline{f}$ при $0\leqslant t\leqslant\overline{t}$ и $0\leqslant t\leqslant\infty$. Пусть p_1 — корень характеристич. ур-ния, тогда (13) можно записать в виде:

$$e^{p_1t}\frac{d}{dt}(e^{-pt}\xi)=f(t).\qquad (14)$$

Общее решение последнего ур-ния имеет вид:

$$\xi(t)=e^{p_1t}\int_{\tau=0}^{t}e^{-p_1t}f(\tau)\,d\tau+e^{p_1t}\xi_0,\qquad (15)$$

где $\xi_0=\xi(0)$ — нач. значение искомой ф-ции $\xi(t)$.

Пусть $p_1<0$; $\alpha>0$ и $|\xi_0|\leqslant\overline{\xi}_0$, тогда оценка ф-ции ξ на интервале $0\leqslant t\leqslant\overline{t}$ имеет вид:

$$|\xi(t)|\leqslant e^{p_1t}\int_{\tau=0}^{t}e^{-p_1t}\overline{f}d\tau+\overline{\xi}_0\,e^{p_1t}<$$
$$<\frac{\overline{f}}{-p_1}\left(1-e^{p_1\overline{t}}\right)+\overline{\xi}_0.\qquad (16)$$

Следовательно, для выполнения неравенства $|\xi(t)|\leqslant\overline{\xi}$ достаточно выполнения условий:

а) на интервале $0\leqslant t\leqslant\overline{t}$

$$\frac{\overline{f}}{a}\left(1-e^{-a\overline{t}}\right)+\overline{\xi}_0\leqslant\overline{\xi};\qquad (17)$$

б) на интервале $0\leqslant t\leqslant\infty$

$$\frac{\overline{f}}{a}+\overline{\xi}_0\leqslant\overline{\xi}.\qquad (18)$$

Аналогичным образом исследуются и системы более высоких порядков.

Следует отметить, что в связи со значит. распространением систем автоматич. управления, имеющих весьма огранич. время работы, проблема тех. устойчивости приобретает большое значение.

Лит.: Андронов А. А., Витт А. А. и Хайкин С. Э., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959; Моисеев Н. Д., О некоторых методах теории технической устойчивости, ч. 1, [М.], 1945; Зубов В. И., Математические методы исследования систем автоматического регулирования, Л., 1959; Летов А. М., Устойчивость нелинейных регулируемых систем, 2 изд., М., 1962. *А. Л. Горелик.*

УСТОЙЧИВОСТИ УСЛОВИЯ (stability conditions; conditions de stabilité; Stabilitätsbedingungen) — условия, при выполнении к-рых движение САР устойчиво. У. у. позволяют без решений дифференц. ур-ний *возмущенного движения* САР судить об устойчивости *невозмущенного движения*:

$$x_1^*=0;\ \ldots\ ;\ x_n^*=0.\qquad (1)$$

В случае, когда ф-ции $X_k(x_1,\ldots,\ x_n)$ в ур-нии возмущ. движения допускают разложение в степенны́е ряды, сходящиеся в нек-рой окрестности начала координат, У. у. получаются из ур-ний 1-го приближения:

$$\frac{dx_k}{dt}=a_{k1}x_1+\ldots+a_{kn}x_n;\quad (k=1,\ \ldots,\ n).\qquad (2)$$

Для этого составляется характеристич. ур-ние:

$$D(\lambda)=\begin{vmatrix} a_{11}-\lambda & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn}-\lambda \end{vmatrix}=0. \quad (3)$$

Необходимым и достаточным У. у. невозмущенного движения будет условие отрицательности веществ. частей всех корней ур-ния (3). Если один корень этого ур-ния имеет положит. веществ. часть — движение (1) неустойчиво. В критич. случаях, если веществ. часть нек-рых корней ур-ния (3) равна нулю, рассмотрения ур-ний 1-го приближения недостаточно для суждения об устойчивости невозмущенного движения (1).

Существуют критерии устойчивости, позволяющие без решения ур-ния (3) находить условия, при к-рых веществ. части корней этого ур-ния отрицательны (см. *Анализ устойчивости систем*). Для изучения устойчивости непосредственно по дифференц. ур-ниям возмущ. движения применим прямой метод Ляпунова, позволяющий находить достаточные У. у. невозмущенного движения (2).

Лит.: Ляпунов А. М., Общая задача об устойчивости движения, М.—Л., 1950; Летов А. М., Устойчивость нелинейных регулируемых систем, 2 изд., М., 1962; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

С. Д. Земляков.

УСТОЙЧИВОСТЬ систем автоматического управления (automatic control systems stability; stabilité des systèmes asservis; Stabilität der Regelungssysteme). Рус. ученый А. М. Ляпунов впервые ввел в науку понятие «устойчивость», дал строгую и законченную постановку задачи об устойчивости движения и два метода ее решения, из к-рых, ввиду своей общности, приобрел особое значение прямой метод (см. *Ляпунова метод*). Осн. заслуга в дальнейшем развитии этих методов и их приложение к технич. задачам принадлежит сов. школе теории устойчивости, созданной Н. Г. Четаевым.

Пусть дифференц. ур-ние

$$\dot{x}=X(x,\ u,\ t) \quad (1)$$

представляет исходную математич. модель объекта управления, где $x\{x_1,\dots,x_n\}$ — вектор состояния объекта; u — координата органа управления $t\in[t_0,\ T]$ или $t\in[t_0,\infty]$; $X\{X_1,\dots,X_n\}$ — вектор обобщенных действующих сил. Ур-ние (1) есть векторная запись физич. закона, к-рому объект управления подчинен. Его св-ва приближенно или же точно отражаются характером функции $X(x,\ u,\ t)$, определенной в открытой или замкнутой области $N(x,\ u)\geqslant 0$ переменных $x,\ u$, на к-рую распространяется действие физич. закона.

Допустим, что управление $u(t)$ принадлежит нек-рому заданному классу U ф-ций, а ур-ние (1) таково, что при любом $u(t)\in U$ оно имеет единств. решение $x=x[x_0,\ u(t),\ t]$, $x\in N$.

Выберем нек-рое управление $u^*(t)\in U$ и нач. состояние объекта x_0^*; им отвечает решение

$$u=u^*(t),$$
$$x=x^*[x_0^*,\ u^*(t),\ t]. \quad (2)$$

Решение (2) наз. *невозмущенным движением*. Всякое иное решение, возникающее при любом $x_0\neq x_0^*$, в отличие от (1) и (2), наз. *возмущенным движением*, а разности $x-x^*=z$; $u-u^*=\xi$ — возмущениями. Они удовлетворяют ур-нию

$$\dot{z}=Z(z,\ \xi,\ t), \quad (3)$$

где $$Z(z,\ \xi,\ t)=X(x^*+z,\ \ u^*+\xi,\ t), \quad (4)$$

наз. ур-нием возмущенного движения.

К объекту (3) присоединим систему управления. Она состоит из программного элемента, реализующего управление $u^*(t)$, и регулятора, к-рому соответствует нек-рое дифференц. ур-ние (или же система ур-ний, если u — векторная ф-ция):

$$F(\dots,\ \dot{\xi},\ \xi,\ z,\ t,\ p)=0, \quad (5)$$

где p — векторный параметр. Ур-ние (5) обладает тем свойством, что $F=0$ при $z=0$, $\xi=\dot{\xi}=\dots=0$. В дальнейшем введем вектор y с компонентами $z,\ \xi,\ \dot{\xi},\ \dots$. Совокупности ур-ний (3), (5) будут соответствовать ур-ние возмущенного движения замкнутой системы:

$$\dot{y}=Y(y,\ t,\ p), \quad (6)$$

записанному в нормальной форме Коши. Здесь $y\in N$, а N может быть все пространство.

Если (2) есть точно определенное решение ур-ния (1), то ф-ция $Y(y,\ t)$ непременно обладает св-вом

$$Y(0,\ t,\ p)\equiv 0. \quad (7)$$

Последнее означает, что ф-ция

$$y^*\equiv 0 \quad (8)$$

является частным решением уравнения (6), к-рое также наз. невозмущенным движением. Формулируем проблему о его устойчивости при условии, что $t\in[t_0,\ \infty)$. В силу однозначного соответствия, последнее означает, что устойчивости движения (8) будет отвечать устойчивость невозмущенного движения (2).

Т. о., невозмущенное движение (8) наз. устойчивым по Ляпунову, если при всяком произвольно заданном числе A, как бы оно ни было мало, существует такое число $\lambda(A)$, что выполнение неравенства

$$\|y_0\|^2\leqslant\lambda \quad (9)$$

как следствие влечет за собой выполнение неравенства

$$\|y(t)\|^2<A \quad (10)$$

при любом $t\in[t_0,\ \infty)$; в противном случае невозмущенное движение неустойчиво. Если при соблюдении неравенств (9) и (10) выполняется предельное равенство

$$\lim\|y(t)\|^2=0 \quad \text{при} \quad t\longrightarrow\infty, \quad (11)$$

то невозмущенное движение устойчиво асимптотически. Здесь

$$\|y\|=\left(\sum y_k^2\right)^{1/2}.$$

Поскольку A — произвольное число, то к-рому, в случае устойчивости, возможно найти число $\lambda(A)\neq 0$, определение устойчивости относится к любой области N, если только ур-ние (6) сохраняет свой физич. и математич. смысл.

Осн. задача теории автоматич. управления — задача об устойчивости невозмущенного движения (8), к-рая формулируется след. обр. Допустим, что параметр p принадлежит нек-рой области G и его можно выбирать. Тогда требуется определить такую область $S\in G$, что при любом $p\in S$ невозмущенное движение (8) устойчиво или устойчиво асимптотически. Физически это означает, что устойчивым движениям (8) сопутствуют фактически наблюдаемые и желаемые состояния системы, характеризуемые решением (2), а неустойчивым — фактически не реализуемые состояния (2). Для разрешения проблемы локальной устойчивости Ляпуновым доказаны след. две теоремы:

1. Если дифференц. ур-ние (6) возмущенного движения таково, что возможно найти знакоопределенную положит. ф-цию $V(y,\ t)$, полная производная к-рой в силу этих ур-ний есть ф-ция знакопостоянная отрицательная, то невозмущенное движение (8) устойчиво.

2. Если дифференц. ур-ние (6) возмущенного движения таково, что возможно найти знакоопределенную положит. ф-цию $V(y,\ t)$, полная производная к-рой в силу этих ур-ний есть ф-ция знакоопределенная отрицательная, то невозмущенное движение (8) устойчиво асимптотически. Ф-ция V, удовлетворяющая любой из этих теорем, наз. ф-цией Ляпунова. Критерии устойчивости (множество S точек в пространстве $p_1,\ \dots,\ p_m$ векторного параметра p) являются достаточными, и их необходимость не выяснена.

Обе теоремы разрешают проблему глобальной устойчивости в случае, если ф-ция Ляпунова обладает дополнит. св-вом

$$\lim V(y,\ t)=\infty \quad \text{при} \quad \|y\|\longrightarrow\infty. \quad (12)$$

В случае, когда решение (2) определено приближенно или же на объект (1) действуют дополнительные, ранее не учтенные внешние силы, ур-ние (6) будет содержать дополнит. член

$$\dot{y}=Y(y,\ t)+R(y,\ t), \quad (13)$$

где R — нек-рая ограниченная векторная ф-ция. В этом случае имеют место след. понятия устойчивости: невозмущенное движение (8) наз. устойчивым при постоянно действующих возмущающих силах, если при всяком произвольно заданном числе A, как бы оно ни было мало, существуют такие числа $\lambda(A)$, $\mu(\lambda)$, что выполнение неравенства

$$\|y_0\|^2\leqslant\lambda(A) \quad (14)$$

при всяких возмущающих силах, подчиненных условию

$$\|R\|^2\leqslant\mu(A) \quad (15)$$

как следствие влечет за собой выполнение неравенства

$$\|y(t)\|^2<A \quad (16)$$

при любом $t\in[t_0,\ \infty)$; в противном случае невозмущенное движение неустойчиво.

Как оказалось, во многих случаях, представляющих практич. интерес, устойчивость при возмущающих силах гарантируется, если система асимптотически устойчива при $R\equiv 0$. Выше предполагалось, что число λ зависит только от A и не зависит от $t_0,\ y_0$. Для случаев, в к-рых это допущение не соблюдается, имеет место понятие равномерной устойчивости. Именно, говорят, что невозмущенное движение (8) асимптотически равномерно устойчиво по $t_0,\ y_0\in N$, если: 1) решение (8) асимптотически устойчиво по Ляпунову; 2) для любого заданного числа B, как бы оно ни было мало, можно указать такое число $T(B)$, что выполняется неравенство

$$\|y(y_0,\ t,\ t_0)\|<B \quad (17)$$

при любом $t\geqslant t_0+T(B)$, каково бы ни было t_0 и $y_0\in N$.

В литературе известен ряд теорем по равномерной устойчивости, нашедших применение при решении задач устойчивости систем, подверженных действию возмущающих сил.

Большое практич. значение имеют системы автоматич. управления, с к-рыми может быть сопоставлена математич. модель, описываемая функциональным ур-нием возмущенного движения вида

$$\dot{y}=Y[y(t),\ y(t+\vartheta),\ t,\ p], \quad (18)$$

в к-ром новый параметр ϑ определен в интервале $-h\leqslant\vartheta\leqslant 0$. Ур-ние (18) описывает систему «с последействием», если: 1) определено нек-рое множество М нач. ф-ций

$$y(\vartheta)=y_0(\vartheta),\quad \vartheta\in[-h,\ 0]; \quad (19)$$

2) определен векторный функционал $Y[0,\ y(\vartheta),\ t]$ при любых $y(\vartheta)\in$М и $t\geqslant t_0$. При определенных св-вах этого функционала имеет место понятие решения

$$y=y[t,\ t_0,\ y_0(\vartheta)] \quad (20)$$

ур-ния (18), представляющего собой такую непрерывную ф-цию t, что

$$y[t,\ t_0,\ y_0(\vartheta)]=y_0(\vartheta) \quad (21)$$

при $t\in[-h,\ 0]$. Для ур-ния (18) функционал Y обладает св-вом $Y(0,\ 0,\ t)=0$. Невозмущенное движение

$$y\equiv 0 \quad (22)$$

наз. устойчивым, если при любом заданном числе A, как бы оно ни было мало, существует такое число $\lambda(A)$, что выполнение неравенства

$$\|y_0(\vartheta)\|^2\leqslant\lambda(A) \quad (23)$$

влечет за собой как следствие выполнение неравенства

$$\|y[t,\ t_0,\ y_0(\vartheta)]\|^2<A \quad (24)$$

при любом $t>t_0$; в противном случае невозмущенное движение неустойчиво. Если при соблюдении условий (23) и (24) выполняется предельное равенство

$$\lim\|y[t,\ t_0,\ y_0(\vartheta)]\|=0 \text{ при } t\longrightarrow\infty, \quad (25)$$

невозмущенное движение устойчиво асимптотически.

Определение понятия устойчивости по вероятности применяется при изучении проблемы устойчивости систем управления со случайными входами. Рассмотрим векторное дифференц. ур-ние

$$\dot{y}=Y[y,\ t,\ \eta(t)], \quad (26)$$

описывающее возмущенное движение. Здесь $\eta(t)$ — случайная векторная ф-ция, принадлежащая нек-рому множеству Ξ. Ур-ние (26) назовем системой со случайным входом.

Очевидно, ф-ция Y такова, что

$$Y[0,\ t,\ \eta(t)]\equiv 0 \quad \eta(t)\in\Xi. \quad (27)$$

Решением ур-ния (26) наз. любая векторфункция $\{y(t,\ t_0,\ y_0,\ \eta_0),\ \eta(t,\ t_0,\ \eta_0)\}$, реализация к-рой $\{y^p(t,\ t_0,\ y_0,\ \eta_0),\ \eta^p(t,\ t_0,\ \eta_0)\}$ удовлетворяет ур-нию (26). Определение устой-

чивости, приведенное ниже, получается естественным обобщением обычного понятия сходимости понятием сходимости по вероятности. Именно, невозмущенное движение

$$y = 0 \qquad (28)$$

наз. устойчивым по вероятности, если при любых, сколь угодно малых положит. числах ε, p можно найти такое число $\delta(\varepsilon, p)>0$, что выполнение неравенства

$$\| y_0 \|^2 = \| y(t_0) \|^2 \leqslant \delta \qquad (29)$$

для всякого решения ур-ния (26) как следствие также повлечет выполнение неравенства

$$p_t [\| y(t, t_0, y_0, \eta_0) \| < \varepsilon] > 1-p \qquad (30)$$

при любом $t>t_0$; в противном случае невозмущенное движение (28) неустойчиво. Если в дополнение к условиям (29) и (30) имеет место предельное равенство

$$\lim p_t (\| y \| < \mu) = 0 \quad \text{при} \quad t \longrightarrow \infty \qquad (31)$$

для всех решений ур-ния (26), начинающихся в нек-рой фиксированной области, невозмущенное движение устойчиво асимптотически. Здесь через p_t обозначена вероятность того, что в любой момент $t \geqslant t_0$ выполняется неравенство $\|y\|<\varepsilon$ при всякой $\eta(t) \in \Xi$. Задача об устойчивости систем с последействием или систем со стохастич. входом формулируется в аналогичных выражениях, а ее решение достигается путем соответствующих обобщений теорем прямого метода Ляпунова. Понятие устойчивости находится в тесной связи с понятием оптимальности в управлении. Обратимся к ур-нию (3) и рассмотрим множество возмущенных движений Z, возникающих в области

$$\| z_0 \|^2 < A, \qquad (32)$$

где A — нек-рое число. Поставим перед собой задачу построить ур-ние (5) регулятора, исходя из требования погасить эти движения оптимальным образом. Смысл этой оптимальности выражается функционалом

$$I(\xi) = \int_0^\infty w(z, \xi, t)\, dt, \qquad (33)$$

где w — знакоопределенная положит. ф-ция. Оказывается, решение задачи, приводящее нас к ур-нию (5), доставляется ф-цией Ляпунова $u(z, t)$, определяемой ур-нием

$$u(z, t) = \int_t^\infty w(z, \xi, t)\, dt, \qquad (34)$$

откуда видно, что замкнутая система будет асимптотически устойчива. Верным является и обратное заключение: если система (6) замкнута, асимптотически устойчива и эта устойчивость доставляется нек-рой ф-цией Ляпунова $u(y, t)$, то возможно построить показатель качества системы и трактовать ее как оптимальную. Эта связь имеет место для систем управления всех рассмотренных типов.

Лит.: Ляпунов А. М., Общая задача об устойчивости движения, М.—Л., 1950; Четаев Н. Г., Устойчивость движения, 2 изд., М., 1955; Малкин И. Г., Теория устойчивости движения, М.—Л., 1952; Дубошин Г. Н., Основы теории устойчивости движения, М., 1952; Красовский Н. Н., Некоторые задачи теории устойчивости движения, М., 1959; Зубов В. И., Методы А. М. Ляпунова и их применение, Л., 1957.

А. М. Летов.

УСТОЙЧИВОСТЬ АСИМПТОТИЧЕСКАЯ (asymptotic stability; stabilité asymptotique; asymptotische Stabilität) — *устойчивость* с неогранич. приближением во времени возмущенного движения к невозмущенному. Нулевое невозмущенное движение наз. асимптотически устойчивым по Ляпунову, если для любого $\varepsilon>0$ найдется такое $\delta(\varepsilon)>0$, что при

$$\sum_{k=1}^{n} y_{k0}^2 < \delta^2$$

будет $\sum_{k=1}^{n} y_k^2 \ (t, y_{10}, \ldots, y_{n0}) < \varepsilon^2$, когда $t \geqslant t_0$,

и $\sum_{k=1}^{n} y_k^2 \ (t, y_{10}, \ldots, y_{n0}) \to 0$, когда $t \to \infty$,

или иначе $\lim\limits_{t\to\infty} y_k(t) = 0$, где $k = 1, \ldots, n$.

О наличии У. а. нулевого решения судят либо по корням характеристич. ур-ния для системы ур-ний 1-го приближения, либо с помощью ф-ции Ляпунова. В частности, имеет место след. теорема: нулевое решение системы ур-ний возмущенного движения асимптотически устойчиво, если существует такая знакоопределенная ф-ция $Y(y_1, \ldots, y_n)$, полная производная к-рой по времени будет знакоопределенной ф-цией противоположного знака с $Y(y_1, \ldots, y_n)$.

В. П. Гришин.

УСТОЙЧИВОСТЬ ВОЗМУЩЕННОГО ДВИЖЕНИЯ (stability of perturbed motion; stabilité de mouvement perturbé; Stabilität der Störlingriffs) — *устойчивость* в системе, подверженной действию возмущающих сил, учесть которые не представляется возможным. Для исследования устойчивости при действии возмущающих сил пригодны *Ляпунова методы*. В частности, с их помощью можно доказать утверждение, что если нулевое решение системы ур-ний *возмущенного движения*:

$$\frac{dy_s}{dt} = Y_s(t, y_1, \ldots, y_n), \quad s = 1, \ldots, n,$$

асимптотически устойчиво и ф-ции $Y_s(t, y_1, \ldots, y_n)$, $s = 1, \ldots, n$, имеют непрерывные и ограниченные по t частные производные, то нулевое решение этой системы устойчиво при постоянно действующих возмущениях.

В. П. Гришин.

УСТОЙЧИВОСТЬ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ДВИЖЕНИЯ (stability of periodic motion; stabilité de mouvement périodique; Stabilität der periodischen Bewegung) — свойство периодич. движения САР, состоящее в том, что соседние движения остаются в течение процесса регулирования в огранич. области периодич. движения при малых значениях начальных отклонений. Если при этом наблюдается неогранич. приближение близких движений к периодич. движению, то периодич. движение асимптотически устойчиво. Асимптотически устойчивые периодич. колебания принято называть автоколебаниями.

Поведение стационарной САР описывается системой дифференц. ур-ний вида:

$$\frac{dx_i}{dt} = X_i(x_1, \ldots, x_n), \qquad (1)$$

где x_n — координаты системы, образующие т. н. фазовое пространство, и X_i определены в некоторой области G фазового пространства. Процесс регулирования, соответствующий нек-рому начальному состоянию, будет представлен в n-мерном фазовом пространстве нек-рой кривой. Среди траекторий, отвечающих ур-нию (1), возможны т. н. предельные циклы, соответствующие периодич. режимам работы САР. Если соседние траектории наматываются на предельный цикл, то это означает, что в САР существует устойчивый периодич. режим. Всегда возможные небольшие отклонения от автоколебаний выведут систему в новый режим, к-рый с течением времени неограниченно приблизится к устойчивому периодич. движению. Неустойчивые предельные циклы физически неосуществимы в САР, т. к. малейший случайный толчок навсегда уведет ее из них.

Предположим, что система (1) имеет периодич. решение

$$x_s = x_s^*(t) \quad (s = 1, \ldots, n), \qquad (2)$$

с периодом τ и начальными значениями $x_{10}^*, \ldots, x_{n0}^*$. Для других начальных данных $x_{10}, \ldots, x_{n0}$ система (1) определит нек-рое движение $x_s = x_s(t)$ при $t \geqslant t_0$. Это решение наз. устойчивым по Ляпунову, если для любого $\varepsilon>0$ можно найти такое $\delta(\varepsilon)>0$, что когда $|x_{i0} - x_{i0}^*| < \delta$, то $|x_i(t) - x_i^*(t)| < \varepsilon$ при $t \geqslant t_0$. Если выполняется еще и соотношение $|x_i(t) - x_i^*(t)| \to 0$ при $t \to \infty$, то периодический режим наз. асимптотически устойчивым. Задача нахождения периодич. решения системы (1) часто решается с помощью метода гармонич. линеаризации. Об устойчивости этого решения судят, как и обычно, по ур-ниям возмущенного движения, к-рые будут представлять собой в данном случае систему дифференц. ур-ний с периодич. коэфф.:

$$\frac{d\Delta x_i}{dt} = \sum_{j=1}^{n} \left(\frac{\partial X_i}{\partial x_j}\right)_{x_i^*} \Delta x_j, \qquad (3)$$

где x_i^* — периодич. решение системы (1), Δx_i — малые отклонения от периодич. решения (во всех ур-ниях).

Лит.: Попов Е. П., Пальтов И. П., Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем, М., 1960; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

В. П. Гришин.

УСТОЙЧИВОСТЬ СТРУКТУРНАЯ [structural stability; stabilité du fait de la structure (stabilité de structure); Strukturstabilität] — свойство САР, определяемое только ее структурной схемой. Если система структурно устойчива, то в пространстве параметров есть область устойчивости. Если же система структурно неустойчива, то она неустойчива при любых значениях параметров, и ее можно сделать устойчивой, только изменив структурную схему. Задача нахождения условий У. с. решена только для нек-рых классов структурных схем, в общем же виде не решена. Условия У. с. получены в виде таблиц. Теория У. с. позволяет, не решая ур-ния, определить, будет ли САР устойчивой хотя бы при одном наборе параметров.

Лит.: Айзерман М. А., Лекции по теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1958; Пятницкий Е. С., О структурной устойчивости одноконтурных систем регулирования нормального типа, «АиТ», 1963, т. 24, № 5; Гальперин И. И., Автоматика как односторонняя механика, М.—Л., 1964.

В. Г. Шолохов.

УСТОЙЧИВОСТЬ ЭНТРОПИЙНАЯ — см. *Энтропийная устойчивость*.

УСЭППА (standardized modular system of industrial pneumo elements; système universel d'éléments d'automation pneumatique industriel; Standardbauelemente industrieller Druckluftautomatik) — универсальная система элементов пром. пневмоавтоматики. Состоит аналогично электрич. системам из отдельных устройств — пневматич. элементов, каждый из к-рых выполняет определ. простейшую операцию. Система включает элементы, позволяющие реализовать операции аналогового, дискретного (релейного) и аналого-дискретного типов.

Для реализации аналоговых операций над сигналами, принимающими любые значения из рабочего диапазона давлений (напр., от 0 до 1,4 *кг/см²*), система включает элементы сравнения на два и более входных сигналов, пневмосопротивления (пневмодроссели), пневмоемкости, пневмоповторители. С помощью такого набора элементов могут быть созданы решающие усилители и инерционные звенья (*RC*-цепочки), составляющие основу аналоговой техники. Для реализации алгебраич. и временны́х логич. операций с сигналами система включает пневмореле (принимающие два значения — условные 0 и 1) и пассивный элемент «или», составляющие основу пневматич. релейной техники. С помощью этих элементов возможна реализация элементарных логич. операций и одноактных релейных схем, разнообразных временны́х операций типа генерирования, импульсирования, пересчета сигналов. Все временны́е операции могут осуществляться или на естеств. задержках (инерционных звеньях типа *RC*-цепочки),

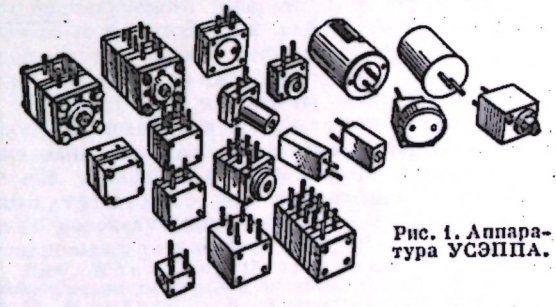


Рис. 1. Аппаратура УСЭППА.

или на принудит. задержках, работающих от внешнего сигнала. Для реализации операций аналого-дискретного типа система включает клапаны и ячейку памяти.

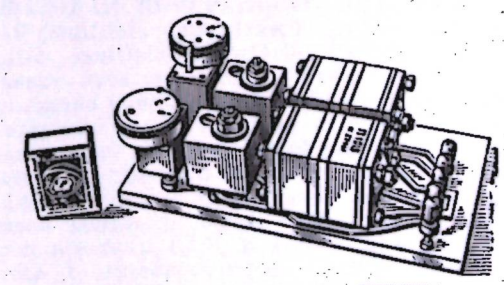


Рис. 2. Монтаж элементов УСЭППА.

Построение УСЭППА основано на применении печатного монтажа. Все элементы УСЭППА имеют стандартные цоколи (рис. 1), позволяющие устанавливать их на спец.

монтажных панелях (платах), содержащих коммуникац. каналы (рис. 2). Монтажные панели собираются из неск. слоев, между к-рыми способом печати (фрезеровкой, штамповкой, травлением) образуются коммуникац. каналы (рис. 3). Путем изготовления различных плат и укомплектования их стандартными элементами УСЭППА можно строить одно-тактные и многотактные релейные схемы, устройства телемеханики с кодированием и декодированием сигналов, непрерывные и дискретные регулирующие устройства со сложными законами регулирования, системы автоматической оптимизации и другие схемы комплексной автоматизации, содержащие иногда сотни и тысячи элементов. УСЭППА сокращает срок освоения каждого нового прибора (устранение необходимости в трудоемком конструировании), снижает стоимость приборов, увеличивает срок службы устройства (возможность замены отказавших элементов новыми), упрощает обслуживание приборов в эксплуатации (монтаж допускает контроль за любой точкой схемы). Элементный способ УСЭППА допускает модернизацию и дополнение системы новыми элементами, все расширяющими функцион. возможности пневматики.

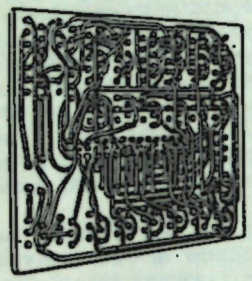


Рис. 3. Монтажная плата УСЭППА.

Приборы и системы с использованием УСЭППА широко применяются в химической, металлургической, пищевой и других отраслях промышленности, в судостроении и энергетике. За создание и внедрение УСЭППА авторы удостоены в 1964 Ленинской премии.

Лит.: Берендс Т. К. [и др.], Элементный принцип в пневмоавтоматике, «П», 1963, № 11; Берендс Т. К., Тагаевская А. А., Тагаевская А. А., Элементное построение приборов и систем пневмоавтоматики, в сб.: Пневмо- и гидро-автоматика, М., [1964].

Т. К. Берендс.

УТЕЧКА СЕТКИ (grid leakage; fuits de grille; Gitterableitung) — активное сопротивление, включаемое между сеткой и катодом с целью создания цепи для стекания на катод электронов, оседающих на сетке. Наличие У. с. обязательно для нормальной работы электронных ламп (за исключением электрометрич., к-рые в нек-рых случаях работают в режиме «свободной сетки»), иначе лампа запирается накапливающимся на сетке отрицат. зарядом. У. с. создает отрицат. напряжение на сетке усилит. лампы порядка 0,5—1 *в*. При включении У. с. в цепь сетки генератора с самовозбуждением (параллельно с емкостью) образуется г р и д л и к, обеспечивающий стабильный энергетически выгодный стационарный режим при мягком самовозбуждении за счет постепенного увеличения отрицательного смещения пропорционально амплитуде устанавливающихся автоколебаний.

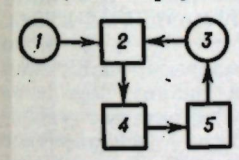
Лит.: Жеребцов И. П., Радиотехника, 5 изд., М., 1963; Ицхоки Я. С., Нелинейная радиотехника, М., 1955.

И. М. Конга.

Ф

ФАЗОВАЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ ПОДСТРОЙКА (automatic phase adjustement; contrôle automatique de phase; automatische Phaseneinstellung) — разновидность системы автоматической подстройки частоты стабилизируемого генератора, осуществляющая управляемое воздействие на генератор при отклонении его частоты от эталонного значения по эквивалентному изменению фазы этого колебания. В отличие от частотной системы автоматич. подстройки частоты, Ф. а. п. обеспечивает совпадение частот эталонного и стабилизируемого генераторов с точностью до фазы. Ф. а. п. основана на том, что разность фаз двух колебаний может оставаться неизменной во времени лишь в том случае, если частоты этих колебаний равны между собой и, наоборот, обеспечение постоянной разности фаз гарантирует равенство частот двух колебаний.

В системе Ф. а. п. (рис.) на смеситель (см. *Детектор фазовый*) *2* подаются напряжения эталонной частоты с генератора *1* и стабилизируемого генератора *3*. К выходу фазового детектора подключен фильтр нижних частот *4*. Выходное напряжение фильтра пропорционально косинусу (или синусу) текущего сдвига фаз между сравниваемыми колебаниями. Это напряжение подается через фильтр на управляющий элемент *5* (реактивную лампу или аналогичный ей в этом смысле ПП прибор), эквивалентное сопротивление к-рого изменяется в соответствии с приложенным напряжением. Последнее приводит к соответствующему изменению частоты стабилизируемого генератора. Синхронизация частот стабилизируемого и эталонного генераторов возможна, если первонач. отклонение первой от эталонного значения не превышает определ. значения, наз. полосой схватывания $\Delta\omega_c$. Полоса удержания $\Delta\omega_y$ определяется максимально допустимым расхождением частот стабилизируемого и эталонного генераторов, при к-ром в Ф. а. п. осуществляется синхронизация. Величина полосы удержания определяется крутизной управляющего элемента, коэфф. передачи фазового детектора, видом его амплитудной хар-ки и амплитудами напряжений генераторов.



Хар-ка фильтра нижних частот Ф. а. п. определяет полосу схватывания Ф. а. п., к-рая меньше полосы удержания. Включение узкополосного фильтра обусловлено требованием устойчивой работы Ф. а. п. при высоком коэфф. передачи в петле обратной связи автоподстройки частоты. Максимально допустимая полоса пропускания фильтра определяется необходимостью подавления комбинац. частот, неизбежно образующихся на выходе фазового детектора и могущих вызвать паразитную модуляцию колебаний стабилизируемого генератора. При проектировании Ф. а. п. обычно известны наиболее интенсивные комбинац. сигналы на выходе выбранной схемы фазового детектора. Требуемая величина подавления комбинац. частоты определяет выбор параметров фильтра. Получили распространение и наиболее полно исследованы системы Ф. а. п. с однозвенными *RC*-фильтрами. Для расширения области начальных расстроек стабилизируемого генератора, в к-рой обеспечивается устойчивая работа Ф. а. п., используются более сложные фильтры, напр. пропорционально-интегрирующие.

Принцип Ф. а. п. частоты генераторов широко применяется в службе точного измерения времени (для сверки эталонных генераторов с абс. эталоном частоты, напр. молекулярным генератором), для обеспечения когерентного переизлучения сигналов в радиоретрансляционных устройствах и др.

Лит.: Капланов М. Р., Левин В. А., Автоматическая подстройка частоты, 3 изд., М.—Л., 1962; Крохин В. В., Элементы радиоприемных устройств сверхвысоких частот, М., 1964.

А. Н. Трифонов.

ФАЗОВАЯ ПЛОСКОСТЬ (phase plane; plan de phase; plan d'extension; Phasenebene) — двухмерное *фазовое пространство*.

ФАЗОВАЯ ПОВЕРХНОСТЬ МНОГОЛИСТНАЯ (multifold phase plane; le plan de phase en feuilles multiples; mehrfache Phasenebene) — элемент качеств. метода исследования динамич. систем, описываемых дифференц. ур-ниями с неоднозначными правыми частями. В технике широко распространены такие динамич. системы, к-рые нельзя описать одним дифференц. ур-нием или их системой с однозначной правой частью. К классу таких систем относятся все типы САР, в к-рых имеются элементы с гистерезисными св-вами (звенья с люфтами; звенья, в к-рых действуют силы сухого трения; электромагнитные реле; спусковые регуляторы).

Поведение таких систем описывают совокупностью ур-ний:

$$\ddot{x} = f_i(x, \dot{x}),\ i = 1, 2, \ldots, m, \qquad (1)$$

причем по меньшей мере для одной из ф-ций f_i вид ее или область определения G_i отличны от таковых для других ф-ций f_i; каждая из областей G_i не заполняет всей плоскости x, $\dot{x}$, и каждая из них перекрывается не менее, чем одной из остальных областей. Для подобных систем можно построить адекватную фазовую поверхность: отобразить каждое из ур-ний (1) на свой кусок фазовой плоскости и скрепить получившиеся листы фазовых плоскостей между собой в соответствии с исходным дифференц. ур-нием вдоль тех участков границ отдельных листов, через к-рые изображающие точки выходят за границы листов (см. *Фазовой плоскости метод*). Полученная т. о. многолистная фазовая поверхность дает взаимно-однозначное соответствие между состоянием системы и положением изображающей точки на Ф. п. м. Следовательно, в отличие от обычных систем 2-го порядка, в к-рых состояние системы полностью определяется двумя числами — скоростью $\dot{x}$ и отклонением x, в рассматриваемых системах, содержащих звенья с гистерезисными хар-ками, состояние системы определяется скоростью $\dot{x}$, отклонением x и номером листа многолистной фазовой поверхности. В нек-рых случаях многолистная фазовая поверхность имеет бесконечно большое число листов и представляет вырожденный трехмерный континуум.

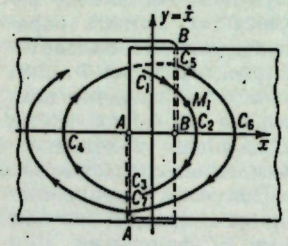


Рис. 1.

На рис. 1 приведена двухлистная фазовая поверхность САР с объектом 1-го порядка без самовыравнивания и сервомотором пост. скорости, при наличии люфта между чувствит. элементом и золотником.

Система описывается ур-ниями:

$$T_a \ddot{x} = \frac{1}{T_s} \text{ при } y < \varepsilon, \qquad (2, a)$$

$$T_a \ddot{x} = -\frac{1}{T_s} \text{ при } y > -\varepsilon, \qquad (2, б)$$

где T_a и T_s — постоянные времени объекта и сервомотора, а ε — определяется величиной люфта. Фазовая поверхность составлена из двух листов (рис. 2), каждый из к-рых заполнен семействами интегральных кривых — квадратных парабол. Правый лист отображает движение в системе (2, *б*), а левый — в системе (2, *а*). Эти листы наложены друг на друга так, чтобы их оси x и x совпадали и были бы скреплены вдоль участков AA и BB, на к-рые выходят изображающие точки. Изображающая точка из M_1 движется по траектории $C_1 C_2 C_3$ по верхнему листу до его границы в точке C_3. Здесь изображающая точка переходит на нижний лист, движется по траектории $C_3 C_4 C_5$ и выходит на границу нижнего листа в точке C_5, далее переходит на верхний лист, движется по траектории $C_5 C_6 C_7$, переходит на нижний лист в точке C_7 и т. д. Как видно из рис. 1, в системе происходят нарастающие колебания.

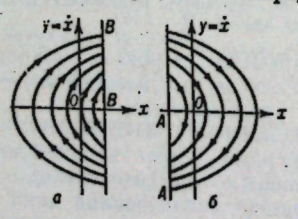


Рис. 2.

Лит.: Казакевич В. В., Многократные системы и простейшие динамические модели часов, «ДАН СССР», 1950, т. 74, № 4; его же, Об автоколебаниях, порождаемых в системах регулирования падающими характеристиками трения в сервомоторах, «АиТ», 1951, т. 12, № 6; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954, гл. 17, 18; Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959.

В. В. Казакевич.

ФАЗОВАЯ ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА (phase frequency characteristic; caractéristique phase/fréquence; Phasenfrequenzcharakteristik) — зависимость величины сдвига фазы между выходным и входным гармоническими колебаниями линейной стационарной динамич. системы от частоты входного колебания. Ф. ч. х. системы $\varphi(j\omega)$ равна аргументу ее *частотной характеристики* (комплексного коэфф. передачи). Ф. ч. х. можно определить экспериментально, подавая на вход системы синусоидальное воздействие известной частоты и измеряя сдвиг фаз между выходным установившимся колебанием и входным воздействием. Для *минимально-фазовых систем* существует взаимно-однозначная связь между Ф. ч. х. и амплитудной частотной хар-кой (см. *Амплитудная фазовая характеристика*). Если система представляет собой последоват. соединение неск. звеньев, то Ф. ч. х. системы определяется как сумма Ф. ч. х. всех звеньев.

Л. П. Сысоев.

ФАЗОВАЯ ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЛОГАРИФМИЧЕСКАЯ (logarithmic phase frequency characteristic; caractéristique phase/logarithme de fréquence, courbe de phase; logarithmische Phasenfrequenzcharakteristik) — *фазовая частотная характеристика*, построенная в логарифмич. масштабе по оси абсцисс; обычно в масштабе частот $\lg \omega$, иногда — $\ln \omega$. В последнем случае Ф. ч. х. л. наз. натуральной. Преимущество Ф. ч. х. л. по сравнению с обычными фазовыми частотными хар-ками заключается в значит. «сжатии» оси абсцисс. Напр., десятикратному увеличению частоты соответствует десятикратное увеличение абсциссы обычной фазовой частотной хар-ки, тогда как для Ф. ч. х. л. это соответствует приращению абсциссы на единицу.

Л. П. Сысоев.

ФАЗОВОЕ ПРОСТРАНСТВО (phase space; espace de phase; Phasenraum) — пространство, каждой точке к-рого взаимно-однозначно соответствует состояние (совокупность значений обобщенных координат) нек-рой *динамической системы*. Взаимно-однозначное соответствие между состояниями системы и точками Ф. п. достигается выбором числа измерений Ф. п., равным числу обобщенных координат рассматриваемой динамич. системы. Понятие Ф. п. было введено в конце 19 в. французским ученым А. Пуанкаре в связи с разработанным им геометрич. подходом к ур-ниям небесной механики. Метод Ф. п. впоследствии был развит и эффективно использован сов. учеными А. А. Андроновым применительно к задачам теории колебаний и теории автоматич. регулирования. Понятие Ф. п. и его обобщения оказались весьма плодотворными для исследования нелинейных динамич. систем, в т. ч. для нелинейной теории автоматич. управления, а также для теории оптим. управления.

Состояние автономной динамич. системы полностью определяется значением ее обобщенных координат: $x_1, x_2, \ldots, x_n$.

В n-мерном Ф. п. точка $a(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ с координатами $x_1, x_2, \ldots, x_n$ наз. изображающей точкой. Ф-ции $x_i(t)$, характеризующие движение динамич. системы, можно рассматривать как параметрич. ур-ния траектории изображающей точки в Ф. п. — фазовой траектории.

Изменению во времени состояния динамич. системы соответствует движение изображающей точки по фазовой траектории. Если Ф. п. дополнить координатами $x_{n+1}, \ldots, x_m$, характеризующими влияние воздействия на систему, то получим m-мерное пространство состояний, удобное для исследования св-в неавтономных динамич. систем.

Равновесным состояниям динамич. системы соответствуют особые точки Ф. п., в к-рых изображающая точка может быть неподвижной. Особые точки Ф. п. характеризуются тем, что в них (и только в них) направление касательной к фазовой траектории становится неопределенным. Особые точки, однако, могут иметь место и в неравновесных состояниях системы. Ур-ния вида:

$$f(x_1, x_2, \ldots, x_n) = C \qquad (1)$$

определяют нек-рую поверхность в Ф. п., а неравенства вида:

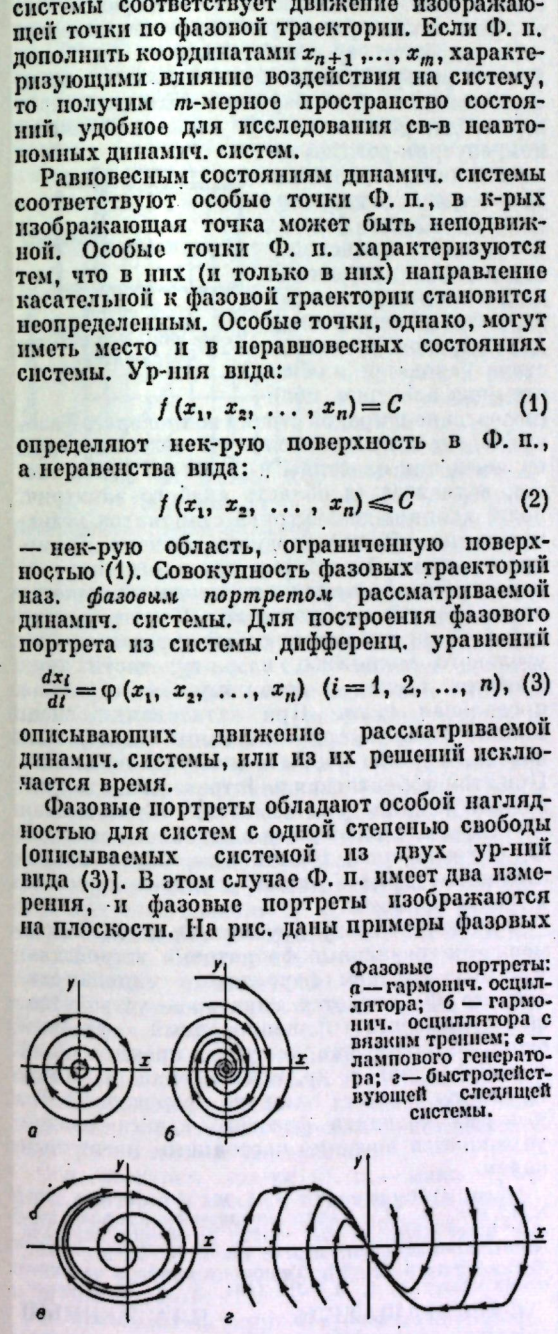
$$f(x_1, x_2, \ldots, x_n) \leqslant C \qquad (2)$$

— нек-рую область, ограниченную поверхностью (1). Совокупность фазовых траекторий наз. *фазовым портретом* рассматриваемой динамич. системы. Для построения фазового портрета из системы дифференц. уравнений

$$\frac{dx_i}{dt} = \varphi(x_1, x_2, \ldots, x_n) \quad (i = 1, 2, \ldots, n), \qquad (3)$$

описывающих движение рассматриваемой динамич. системы, или из их решений исключается время.

Фазовые портреты обладают особой наглядностью для систем с одной степенью свободы [описываемых системой из двух ур-ний вида (3)]. В этом случае Ф. п. имеет два измерения, и фазовые портреты изображаются на плоскости. На рис. даны примеры фазовых



Фазовые портреты: *а* — гармонич. осциллятора; *б* — гармонич. осциллятора с вязким трением; *в* — лампового генератора; *г* — быстродействующей следящей системы.

портретов. Фазовые портреты нелинейных динамич. систем могут содержать замкнутые траектории, наз. предельными циклами. Если фазовые траектории в окрестности предельного цикла стягиваются к нему (рис. *в*), то такой предельный цикл наз. устойчивым и изображает автоколебания, возникающие в системе.

Лит.: Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959; Бабаков И. М., Теория колебаний, М., 1958; Вариационные принципы механики. [Сб. ст.], М., 1959; Poincaré H., Les méthodes nouvelles de la mécanique céleste, v. 1, P., 1892.

А. Я. Лернер.

ФАЗОВОЙ ПЛОСКОСТИ МЕТОД (phase plane method; méthode du plan de phase; Methode der Phasenebene) — качеств. метод исследования динамич. системы, описываемой нелинейными ур-ниями вида:

$$\frac{dx}{dt} = P(x, y), \quad \frac{dy}{dt} = Q(x, y). \qquad (1)$$

Ф. п. м. допускает обобщение в виде метода *фазового пространства*, но применяется для систем, имеющих ур-ния не выше 3-го порядка. Ф. п. м. заключается в построении на фазовой плоскости *фазового портрета* исследуемой нелинейной системы. Ф. п. м. дает возможность определить осн. качеств. особенности и количеств. данные о поведении динамич. систем, описываемых нелинейными ур-ниями.

Осн. задачи при исследовании системы с помощью Ф. п. м.: 1) выявление возможности существования предельных циклов и их числа; 2) определение бифуркационных соотношений параметров системы, при к-рых происходит смена ее движений, и определение критич. соотношения осн. параметров, разбивающих пространство параметров системы на области устойчивости и автоколебаний; 3) анализ устойчивости «в большом» состояний равновесия и предельных циклов; 4) определение автоколебат. режимов в системе; выявление условий, при к-рых могут возбуждаться автоколебания (мягкий и жесткий режимы, связь с нач. условиями); 5) определение параметров автоколебаний — амплитуды и частоты, а также зависимости их от параметров САР; 6) выявление качеств. и количеств. картины переходных процессов при свободных колебаниях системы, а также при вынужденных движениях для нек-рых видов возмущений. Перечисленные задачи могут быть решены способом многократного построения фазового портрета системы при различных значениях параметров.

Если нелинейные хар-ки системы допускают кусочно-линейную аппроксимацию, то результаты можно получать в общем виде с помощью метода точечных преобразований.

Системы, в к-рых имеются элементы с неоднозначными хар-ками, не могут быть отображены на обычной фазовой плоскости и требуют для своего отображения *фазовых поверхностей многолистных*. В этом случае движение динамич. системы описывается неск. системами ур-ний вида (1), но каждая из систем определена не на всей фазовой плоскости, а только на нек-рых плоскостях, к-рые перекрывают друг друга. Многолистная фазовая поверхность дает взаимно-однозначное соответствие между положением изображающей точки и состоянием динамич. систем, содержащих элементы с неоднозначными хар-ками.

Лит.: 1) Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959; 2) Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; 3) Горская Н. С., Крутова И. Н., Рутковский В. Ю., Динамика нелинейных сервомеханизмов, М., 1959; 4) Флюгге-Лотц И., Метод фазовой плоскости в теории релейных систем, пер. с англ., М., 1959; 5) Казакевич В. В., «ДАН СССР», 1950, т. 74, № 4.

В. Г. Шолохов.

ФАЗОВРАЩАТЕЛЬ [phase-shifter (shifter); dispositif de rotation de phase (déphaseur);

Phasenschieber] — устройство для изменения фазы колебаний напряжения, тока или электромагнитного поля. На пром. частотах и до радиочастот метрового диапазона в качестве Ф. обычно применяются *четырехполюсники*, состоящие из сосредоточ. сопротивлений, индуктивностей и емкостей. Сдвиг фазы в пределах 90° может быть получен с помощью простейшей *RC*-цепи, представляющей собой Г-образное соединение емкости и сопротивления. Если выходное напряжение снимается с сопротивления (дифференцирующая цепь), то фазовый сдвиг положителен, если напряжение снимается с емкости (интегрирующая цепь), то фазовый сдвиг отрицателен. Такой Ф. используется обычно для введения в тракт передачи сигнала фиксиров. фазового сдвига, и его применение в качестве регулируемого Ф. нецелесообразно, т. к. с изменением фазового сдвига меняется также модуль коэфф. передачи. Постоянство модуля коэфф. передачи обеспечивает фазосдвигающий мост (рис. 1, *а*) при питании его от источника

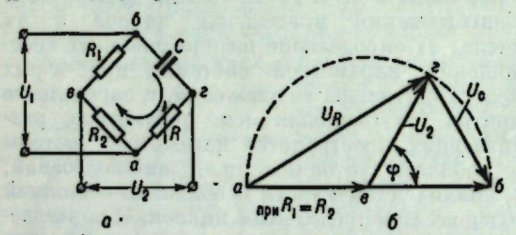


Рис. 1. Фазосдвигающий мост: *а* — принципиальная схема; *б* — сдвиг фаз между напряжениями.

с малым внутр. сопротивлением и отсутствии шунтирующего действия выходной нагрузки. Напряжения на сопротивлении R и емкости C сдвинуты между собой на угол 90° (рис. 1, *б*). Сдвиг фазы φ выходного напряжения U_2 можно изменять от 0° до 180°, величина выходного напряжения при этом остается неизменной (точка *г* на круговой диаграмме перемещается по дуге окружности, опирающейся на диаметр *аб*). Переменив местами сопротивление R и емкость C, можно изменить знак фазового сдвига, оставив те же пределы его регулировки. Т. к. внутр. сопротивление источника сигнала не равно нулю, в схеме появляется нач. фазовый сдвиг, т. е. при $R = 0$ $\varphi \neq 0$. Кроме того, сопротивление R не может быть бесконечно большим. Это обстоятельство позволяет осуществить фазовый сдвиг только до 120—150°. Отсутствие общей точки между входным и выходным сигналами — недостаток Ф. такого типа. От этого недостатка свободен ламповый мостовой Ф. (рис. 2), в к-ром симметричное относительно земли напряжение создается *фазоинвертором* с разделенной нагрузкой.

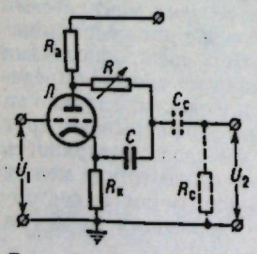


Рис. 2. Принципиальная схема лампового мостового фазовращателя.

В приведенных схемах фазовый сдвиг, вносимый Ф., зависит от частоты. Чтобы избежать этого, в особых случаях используют Ф. следящего типа [1], в к-рых при отклонении фазового сдвига от заданной величины появляется сигнал, управляющий параметрами Ф. так, чтобы это отклонение уменьшилось.

В диапазоне дециметровых и более коротких волн применяются Ф., построенные из отрезков *коаксиальных линий* и *волноводов*. В коакс. трактах Ф. выполняются в виде U-образного колена, длина к-рого может изменяться за счет телескопич. соединения коаксиальных линий.

Широко применяются Ф. в виде согласованных с нагрузкой коаксиальных линий и волноводов, имеющих прорезь для перемещения зонда, с помощью к-рого снимается выходное напряжение. В качестве Ф. используют также нек-рые типы *трансформаторов сверхвысокой частоты*, напр. тр-р с диэлектрич. шайбами. Весьма распространен волноводный Ф., представляющий собой отрезок прямоугольного волновода, работающего на осн. типе колебаний, внутрик-рого параллельно оси расположена диэлектрич. пластина (рис. 3). Сдвиг фазы в таком Ф. происходит вследствие изменения длины волны в волноводе, частично заполненном диэлектриком. Когда пластина находится в области макс. электрич. поля (посередине широкой стенки волновода), фазовый сдвиг имеет наибольшую величину; при перемещении пластины к одной из узких стенок волновода (в область слабого электрич. поля) влияние диэлектрика становится незначительным. В волноводных трактах применяются также Ф., в к-рых при изменении размера широкой стенки волновода изменяется длина волны в волноводе. Конструктивно такой Ф. представляет собой отрезок прямоугольного волновода, в центр. части двух широких стенок к-рого вырезана длинная продольная щель. При затягивании спец. зажима уменьшается поперечный размер волновода, и длина волны в нем увеличивается. При этом эффективная электрич. длина волноводной секции уменьшается, обусловливая сдвиг фазы. Наибольшее применение находят Ф. с диэлектрич. пластинами, основные достоинства к-рых — конструктивная простота и малые габариты.

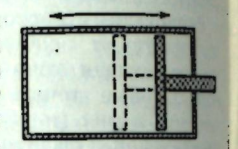


Рис. 3. Поперечное сечение волноводного фазовращателя.

В качестве перегулируемых Ф. на СВЧ применяются различные ферритовые устройства. Частным случаем ферритового однонаправленного Ф. является гиратор — устройство, обеспечивающее фиксированный фазовый сдвиг в одном направлении, превышающий фазовый сдвиг в др. направлении на 180°. Возможно также создание ферритовых Ф., у к-рых величина фазового сдвига плавно управляется внешним постоянным магнитным полем.

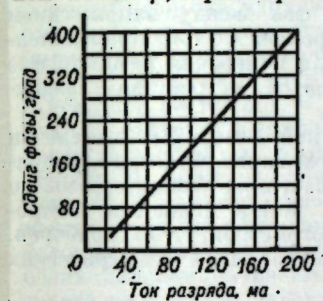
Лит.: 1) Вишенчук И. М., Котюк А. Ф., Мизюк Л. Я., Электромеханические и электронные фазометры, М.—Л., 1962; 2) Линии передачи сантиметровых волн, пер. с англ., ч. 2, М., 1951; 3) Лебедев И. В., Техника и приборы сверхвысоких частот, т. 1, М.—Л., 1961. *Л. Л. Москвитин.*

ФАЗОВРАЩАТЕЛЬ ПЛАЗМЕННЫЙ (plasma phase-shifter; déphaseur à plasma; Plasmaphasenverschieber) — газоразрядный прибор с разрядом низкого давления для изменения фазы электромагнитных колебаний или для фазовой модуляции СВЧ сигнала. Преимущества Ф. п.— простота конструкции, экономичность, возможность обеспечить сдвиг фазы от 0 до 360° при незначит. потерях СВЧ

сигнала. Недостаток — шумы плазмы, к-рыми в нек-рых устройствах можно пренебречь. В Ф. п. плазму рассматривают как диэлектрик с относит. диэлектрич. проницаемостью, определяемой по ф-ле:

$$\varepsilon = 1 - e^2_э N_э / \varepsilon_0 m_э \omega,$$

где $N_э$ — плотность электронов; $e_э$ и $m_э$ — соответственно заряд и масса электронов; ε_0 — диэлектрич. проницаемость свободного пространства; $\omega = 2\pi f$ — угловая частота электромагнитных колебаний. Относит. диэлектрич. проницаемость плазмы, в отличие от обычных диэлектриков, неск. меньше единицы. Она зависит от пропорциональной току разряда плотности электронов и, при распространении через плазму электромагнитной волны, изменения тока разряда в конечном счете вызывают изменение фазовой постоянной волны β, к-рая пропорциональна $1/\sqrt{\varepsilon}$.



Зависимость сдвига фазы от тока разряда.

С ростом тока сдвиг фазы изменяется практически линейно (рис.). Сдвиг фазы и потери СВЧ энергии определяются родом газа, его давлением, длиной разрядного участка. Наибольший сдвиг фазы (360°) при наименьших потерях СВЧ сигнала достигается в Ф. п. с гелиевым наполнением при давлении 0,05—1 *мм рт. ст.* Наполнение Ф. п. инертным газом (неоном) приводит к возникновению НЧ модуляции СВЧ сигнала по фазе и амплитуде, вызванной наличием страт в положит. столбе, и к увеличению потерь в плазме при указанном сдвиге фазы.

Увеличение длины разрядной трубки позволяет получать бо́льшие фазовые сдвиги при меньших потерях в плазме, но влечет к росту начальных потерь в стекле, снижению механич. прочности прибора и возникновению технологич. и конструктивных трудностей при изготовлении Ф. п. Поэтому практически применяют разрядные трубки не длиннее 1200 *мм*. Снижение потерь в стекле достигается макс. уменьшением толщины стенок трубки и применением стекла с малым коэфф. диэлектрич. потерь на СВЧ. Долговечность Ф. п. зависит от срока службы катода, от поглощения газа стеклом и электродами, увеличивающегося с ростом поглощающей поверхности и разрядного тока, и от поглощения газа распыленным материалом.

Осн. электрич. хар-ки Ф. п.— макс. сдвиг фазы, потери в плазме, сдвиг фазы в диапазоне рабочего тока, коэфф. бегущей волны тракта, напряжение горения, дисперсность плазмы, диапазон пропускаемых мощностей и шумы плазмы.

Ф. п. состоит из длинной стеклянной трубки, к-рая помещается в волноводную секцию. Катод Ф. п.— оксидный, синтезированный, косвенного накала. Для уменьшения теплоотвода катод окружен тепловым экраном. Анод прибора — молибденовый, выполнен в виде конуса и погружен в запредельный отрезок волноводной секции. Ф. п. указанной конструкции имеет коэфф. стоячей волны порядка 1,1—1,3. Разрядное зажигание осуществляется с помощью дополнит. электрода, расположенного в разрядном промежутке вблизи катода.

Лит.: Арамс Ф., Газовый разряд на сантиметровых волнах, «Вопросы радиолокационной техники», 1955, № 3 (27); Использование газового разряда в приборах на сантиметровых волнах, «Вестник информации», 1955, № 15; Голант В. Е., Газовый разряд на сверхвысоких частотах, «УФН», 1958, т. 65, вып. 1, № 5. *В. П. Черепанов.*

ФАЗОВЫЙ ДИСКРИМИНАТОР (phase discriminator; discriminateur de phase; Phasendiskriminator) — электронная схема, выходное напряжение к-рой определяется разностью фаз двух весьма близких или равных по частоте колебаний. Ф. д. является *детектором фазовым*. Применяется в системах фазовой автоподстройки частоты, в выходных устройствах фазовых радионавигац. систем, в системах автоматич. регулирования на переменном токе и др. *И. А. Минасян.*

ФАЗОВЫЙ ПОРТРЕТ (phase portrait; caractérisation par la phase; Phasenbild) — совокупность фазовых траекторий, характеризующая всевозможные состояния и движения динамич. системы. Для определения качественной картины разбиения фазовой плоскости на траектории необходимо знать поведение не всех траекторий, а лишь нек-рых — особых траекторий (точки равновесия, предельные циклы и сепаратрисы). Они разбивают всю совокупность траекторий на области, в к-рых они ведут себя одинаково. Если известно взаимное расположение особых траекторий, какие из состояний равновесия и предельных циклов устойчивы, а какие неустойчивы, то

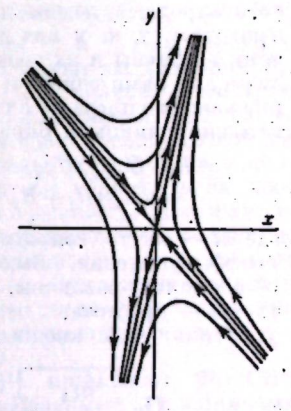


Рис. 1. Фазовый портрет системы с особой точкой типа «седло».

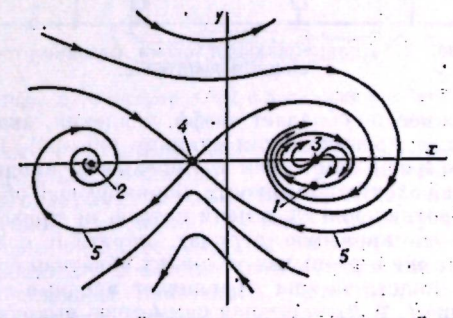


Рис. 2. Фазовый портрет системы, имеющей один устойчивый предельный цикл *1* и три особые точки: устойчивый фокус *2*, неустойчивый узел *3* и седло *4*; *5* — седла-сепаратрисы.

получается полная качественная картина фазовых траекторий, к-рая и наз. Ф. п. На рис. приведены примеры Ф. п. См. также *Фазовое пространство*. *В. Г. Шолохов.*

ФАЗОИНВЕРТОР (phase inverter; inverseur de phase; Phasenumkehrer) — устройство, преобразующее входное напряжение в два напряжения, сдвинутых по фазе на 180°; частный случай *фазорасщепителя*. Часто Ф. представляет собой ламповую схему с колебат.

контуром, имеющим отвод от ср. точки индуктивности или от искусств. ср. точки в емкостной ветви (общей точки двух последовательно соединенных конденсаторов). Реже Ф. представляет собой тр-р, вторичная обмотка к-рого имеет отвод от ср. точки. Широко применяются ламповые Ф. с разделенной нагрузкой, Ф. с анодным делителем и Ф. с катодной связью. В схему Ф. с разделенной нагрузкой входит триод (рис. 1); сопротивления анодной и катодной нагрузок выбирают, как правило, одинаковыми, и анодный ток создает на них равные напряжения, сдвинутые по фазе на 180°. Пентоды и др. многоэлектродные лампы для этой схемы менее пригодны, т. к. у них катодный и анодный токи не равны и их соотношение неодинаково даже для ламп одного и того же типа. Усиление каждого плеча Ф. с разделенной нагрузкой меньше единицы и определяется ф-лой:

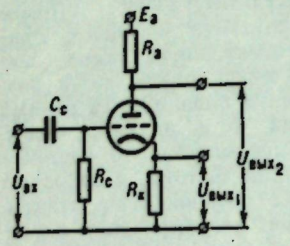


Рис. 1. Принципиальная схема фазоинвертора с разделенной нагрузкой.

$$K = U_{вых1}/U_{вх} = -U_{вых2}/U_{вх} = \mu R_к/[R_i + R_a + R_к(\mu + 1)],$$

где R_i — внутр. сопротивление лампы, μ — ее коэфф. усиления. Выходные сопротивления обоих плеч различны. Достоинство данной схемы — простота, недостаток — отсутствие усиления. Ф. с анодным делителем (рис. 2)

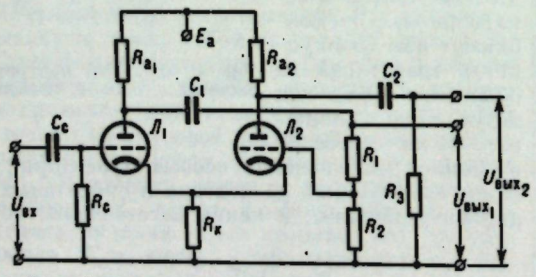


Рис. 2. Принципиальная схема фазоинвертора с анодным делителем.

сложнее, но обладает коэфф. усиления, значительно превышающим единицу (10—20). При идеальной симметрии и линейности анодных цепей отсутствие емкости, блокирующей общее сопротивление $R_к$ в цепи катода, не приводит к возникновению отрицат. обратной связи. Если же в реальных условиях обратная связь возникает, то она уравнивает анодные токи ламп $Л_1$ и $Л_2$, улучшая симметрию выходного сигнала. Величины сопротивлений R_1 и R_2, образующих делитель напряжения, выбирают из условия: $-(R_1 + R_2)/R_2 = K = -\mu_2 R_{a2}/(R_{i2} + R_{a2})$. Для обеспечения симметричности анодных цепей должно выполняться соотношение $R_3 = R_1 + R_2$.

Примерно те же достоинства и недостатки, что и Ф. с анодным делителем, имеет Ф. с катодной связью. Такой Ф. представляет собой двухкаскадную схему, в первом каскаде к-рой триод включен по схеме с общим (заземленным) катодом, во втором — по схеме с общей (заземленной) сеткой. Выходные напряжения снимаются с анодных нагрузок. В области ср. звуковых частот правильно рассчитанные фазоинверсные каскады практически не вносят фазовых и амплитудных искажений. На НЧ погрешности вносятся разделит. и фильтрующими емкостями, на ВЧ — в основном паразитными емкостями. Для уменьшения амплитудных и фазовых искажений в Ф. применяют лампы с большой крутизной хар-ки, питают схемы от стабилизиров. источников с малым выходным сопротивлением, добиваются точной симметрии плеч и т. д. Ф. используются в импульсной технике, в петлях обратной связи генераторов, усилителей и т. п.

Лит.: Вишенчук И. М., Котюк А. Ф., Мизюк Л. Я., Электромеханические и электронные фазометры, М.—Л., 1962; Лэнди Р., Дэвис Д., Альбрехт А., Справочник радиоинженера, М.—Л., 1961.

Л. Л. Москвитин.

ФАЗОМЕТР (phase meter; phasemètre; Phasenmesser, Phasometer) — прибор для измерения разности фаз между напряжением и током в цепях переменного тока промышленной частоты или для измерения разности фаз электрич. сигналов в устройствах радиодиапазона.

1) На промышленной частоте фазовые сдвиги измеряются электромеханич. Ф., к-рые градуируются гл. обр. в значениях косинуса фазового сдвига (cosφ), т. е. коэфф. мощности, и строятся на основе логометров, т. е. приборов, измеряющих отношение двух электрических величин.

2) Для измерения разности (сдвига) фаз между сигналами в диапазоне радиочастот служат электронные Ф., использующие различные методы индикации. В качестве оконечного индикатора часто применяют электронный *осциллограф*. При методе линейной развертки на экране осциллографа наблюдают два напряжения, разность фаз к-рых должна быть измерена. Одновременное изображение двух сигналов получают либо с помощью двухлучевого осциллографа, либо с помощью *коммутатора электронного*, попеременно подающего на вход усилителя вертикального отклонения сравниваемые сигналы. Фазовый сдвиг определяется непосредственно по смещению двух синусоид на экране осциллографа. При методе эллипса один из исследуемых напряжений подается на горизонтально-отклоняющие пластины, другое — на вертикально-отклоняющие. Под действием исследуемых напряжений луч на экране движется по эллипсу, по виду к-рого можно определить фазовый сдвиг между исследуемыми сигналами. В Ф. с использованием осциллографа применяются также методы круговой развертки, яркостных меток и др. Ф. этого типа — практически безынерционные и используются до частот порядка единиц *Мгц*.

Для измерения небольших фазовых сдвигов (0—20°) в качестве Ф. применяют *детекторы синхронные* и *детекторы фазовые*.

Для измерений в диапазоне 0,1—1 *Мгц* часто применяются Ф. с устройствами перекрытия, в к-рых мерой фазового сдвига является относит. длительность совпадения полупериодов двух напряжений. Для повышения точности входные сигналы такого Ф. предварительно усиливаются и ограничиваются. Полученные перем. напряжения прямоугольной формы подводятся к схеме совпадений или суммируются, и сумма измеряется

вольтметром, реагирующим на ср. значения. Пост. составляющая выходного напряжения линейно зависит от сдвига фаз между входными сигналами. Существ. недостаток Ф. с устройствами перекрытия — неопределенность знака фазового сдвига, что иногда устраняется применением совместно с устройством перекрытия менее точной фазоизмерит. схемы для определения знака.

Применяются Ф. на *триггерах*, в которых из измеряемых напряжений формируются кратковременные пусковые импульсы (см. *Формирование импульсов*), соответствующие моменту перехода напряжения сигнала через нуль в сторону возрастания. Импульсы, сформированные из одного напряжения, запускают триггер, импульсы другого возвращают его в исходное состояние. В одном из состояний триггер отдает в выходной измерит. прибор, регистрирующий ср. значения, нек-рый ток. Показания прибора пропорциональны времени, а следовательно, и фазовому сдвигу между входными сигналами. При очень малых фазовых сдвигах, когда пусковые импульсы обоих каналов начинают перекрываться, Ф. такого типа может давать большую погрешность. К числу достоинств Ф. с триггерами относится однозначность показаний в пределах периода. Применением апериодич. деления частоты можно обеспечить и более широкие пределы измерения, напр. от 0° до ± 720°.

В качестве быстродействующих Ф., позволяющих измерять фазовый сдвиг в каждый период входного сигнала, применяются Ф. с генераторами линейно изменяющегося напряжения. В Ф. такого типа из опорного напряжения формируются кратковрем. импульсы, запускающие генератор пилообразного напряжения, напр. *фантастрон*. Начало и конец пилообразного импульса совпадают с началом и концом периода опорного напряжения. Из измеряемого сигнала формируются кратковрем. импульсы, соответствующие началу периода и подключающие на время своего действия конденсатор памяти под пилообразное напряжение. Постоянная времени цепи заряда подбирается так, что конденсатор заряжается до мгнов. значения пилообразного напряжения, соответствующего началу периода измеряемого сигнала. Напряжение на конденсаторе сравнивается при помощи лампового вольтметра со ср. значением пилообразного напряжения. Показания вольтметра пропорциональны сдвигу фаз между сигналом и опорным напряжением. Погрешность Ф. такого типа для частот 10—100 *кгц* — единицы %.

Более высокая точность обеспечивается Ф. с преобразованием частоты, конкретные схемы к-рых отличаются большим разнообразием. В большинстве из них используется либо автоматич. подстройка частоты или фазы гетеродина, либо многократное преобразование частоты и выделение сигнала с частотой вспомогат. низкочастотного кварцевого генератора. В одной из возможных блок-схем Ф. с многократным преобразованием частоты (рис. 1) к смесителям каналов сигнала $см_1$ и опорного напряжения $см'_1$, кроме входных напряжений, подводится напряжение гетеродина $Г_1$ с изменяемой частотой, превышающей частоту сигнала на величину $f_к \approx 1$ *Мгц*.

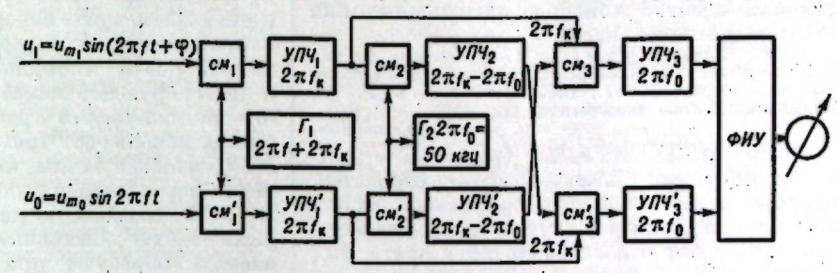


Рис. 1. Блок-схема фазометра с преобразованием частоты.

К смесителям $см_2$ и $см'_2$ подводится напряжение от кварцевого гетеродина с частотой $f_0 = 50$ *кгц*. После смешения в $см_3$ и $см'_3$ колебаний с частотами $f_к$ и $f_к - f_0$ сигналы с частотой f_0 воздействуют на фазоизмерит. устройство *ФИУ*. При полной симметрии каналов разность фаз, измеряемая *ФИУ*, равна удвоенному фазовому сдвигу между входными напряжениями. В реальных устройствах полной симметрии добиться нельзя, из-за чего возникает нек-рая погрешность. Достижимая точность измерений ограничивается точностью *ФИУ* и обычно погрешность не превышает 1—2°. Если применить умножение частоты сигнала, полученного после преобразования частоты, то можно уменьшить погрешность измерений до 0,1—0,2°.

В диапазоне СВЧ применяют Ф. СВЧ с двойными волноводными тройниками (рис. 2). Сигнал генератора разделяется двойным Т-образным волноводным сочленением (двойным тройником) *1* на два когерентных сигнала, один из к-рых проходит через исследуемое устройство, другой — через *фазовращатель*. Далее сигналы сводятся двойным тройником *2* в один канал и детектируются с помощью кристаллич. детектора *3*. При включении детектора в плечо *H* двойного тройника минимум показаний выходного прибора соответствует фазовому сдвигу сигналов в 180°. При замкнутом накоротко, а затем нормально включенном в тракт исследуемом устройстве добиваются с помощью фазовращателя минимума показаний выходного прибора. Фазовый сдвиг сигнала в исследуемом устройстве определяется по шкале фазовращателя как разность двух отсчетов. Вместо двойного тройника *2* можно использовать измерит. линию. В этом случае фазовращатель из схемы исключается, а детектор присоединяется к зонду измерит. линии. Сдвиг фазы

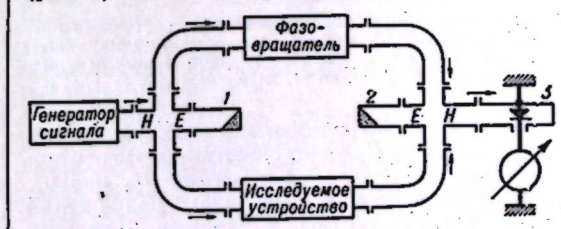


Рис. 2. Фазометр СВЧ с двойными тройниками.

определяется непосредственно по смещению минимума стоячих волн в линии. Для точного измерения разности фаз сигналов диапазона СВЧ эти сигналы преобразуют в более низкую (обычно звуковую) частоту с помощью устройств, подобных рис. 1, а затем измеряют фазовый сдвиг с помощью электронных или электромеханических Ф.

Лит.: Вишенчук И. М., Котюк А. Ф., Мизюк Л. Я., Электромеханические и электронные фазометры, М.—Л., 1962; Валитов Р. А., Радиотехнические измерения, М., 1963.

Л. Л. Москвитин.

ФАЗОРАСЩЕПИТЕЛЬ (phasesplitter; diviseur de phase; Phasenspalter) — устройство, преобразующее входное напряжение в два или неск. напряжений, сдвинутых по фазе на определенные углы относительно друг друга. Ф., преобразующий входное напряжение в два напряжения, сдвинутых по фазе на 180°, наз. *фазоинвертором*. Для получения двух равных напряжений, сдвинутых на 90°, служит Ф., состоящий из фазосдвигающих *RC*-цепей. В схеме мостового Ф. такого типа (рис. 1, *а*) при выполнении соотношения $R_1 = R_2 = 1/\omega C_1 = 1/\omega C_2$ (на выбранной фиксиров. частоте ω) напряжения U_2 и U_2' сдвинуты на 90° одно относительно другого и относительно входного напряжения на +45° и — 45° (рис. 1, *б*). Если напряжения U_2 и U_2'

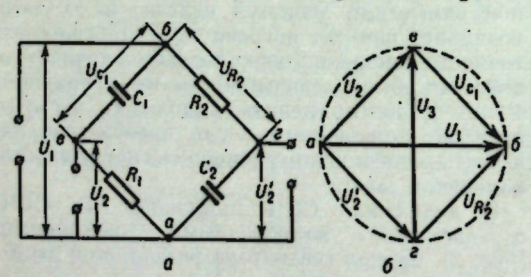


Рис. 1. Мостовой фазорасщепитель, состоящий из фазосдвигающих *RC*-цепей: *а* — принципиальная схема; *б* — сдвиг фаз между напряжениями при выполнении условия $R_1 = R_2 = 1/\omega C_1 = 1/\omega C_2$.

подать на электронную вычитающую схему, то разность их U_3 будет сдвинута по фазе относительно входного напряжения U_1 на 90°. В этой схеме ни одно из выходных напряжений не совпадает по фазе с входным. Для нормальной работы Ф. необходимо обеспечить по обоим выходам режим, близкий к хх.

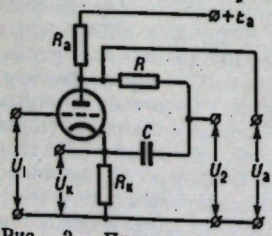


Рис. 2. Принципиальная схема лампового мостового фазорасщепителя.

В ламповом мостовом Ф. (рис. 2) при выполнении условия $R = 1/\omega C$ напряжение U_2 равно напряжениям на аноде и катоде и сдвинуто по отношению к ним на 90° (опережает $U_к$ и отстает от U_3). Все три напряжения снимаются относительно общей точки. Для преобразования однофазного напряжения в четырехфазное (сдвиг между фазами 90°) используют комбинацию 90-градусного Ф. с фазоинвертором; однофазное напряжение преобразуется Ф. в два напряжения, сдвинутые на 90°, а затем производится инверсия обеих составляющих двухфазного напряжения. Мостовой Ф. (рис. 1, *а*) в сочетании с каскадом, поворачивающим фазу входного сигнала на 180°, позволяет преобразовать однофазное напряжение в трехфазное. Для этого нужно выбрать параметры *RC*-цепей так, чтобы сдвиг напряжений U_2 и U_2' относительно U_1 составлял соответственно +60° и −60°, и уменьшить вдвое повернутое по фазе на 180° напряжение U_1, т. к. при сдвиге фазы на 60° модуль коэфф. передачи дифференцирующей и интегрирующей цепей равен $^1/_2$. В качестве Ф. для получения трехфазного напряжения иногда используют трехфазные генераторы — 3 электронные лампы, каждая из к-рых соединена с последующей через дифференцирующую *RC*-цепь, создающую на рабочей частоте фазовый сдвиг 60°. Выходные напряжения каждого каскада образуют при этом симметричную трехфазную систему. На радиочастотах сдвиг двух напряжений в 90° часто получают при помощи двух расстроенных в разные стороны резонансных контуров.

В ряде случаев Ф. должен преобразовать широкую полосу частот в две полосы, сдвинутые по фазе на определенный угол. Для этого применяют специальные фазорасщепляющие цепи, в к-рых фазовый сдвиг в пределах рабочей полосы пропорционален логарифму частоты. Если подать спектр частот на два *четырехполюсника*, в к-рых фазовый сдвиг соответственно равен $\varphi_1 = A_1 + \ln B_1\omega$ и $\varphi_2 = A_2 + \ln B_2\omega$ (A_1, A_2, B_1, B_2 — постоянные параметры), то фазовый сдвиг между выходными напряжениями $\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = A_1 - A_2 + \ln(B_1/B_2) = \text{const}$ не зависит от частоты.

Лит.: Вишенчук И. М., Котюк А. Ф., Мизюк Л. Я., Электромеханические и электронные фазометры, М.—Л., 1962; Асеев Б. П., Фазовые соотношения в радиотехнике, 3 изд., М., 1959.

Л. Л. Москвитин.

ФАЗОСДВИГАЮЩАЯ ЦЕПЬ [phase shifting circuit; chaîne de décalage de phase (chaîne de déphasage); Phasenverschiebungskreis, Phasenverschiebungskette] — электрич. четырехполюсник, сигнал на выходе к-рого сдвинут по фазе относительно входного сигнала. Ф. ц. широко применяются при построении систем автоматич. управления в качестве корректирующих устройств, обеспечивающих устойчивость и необходимое качество процессов управления. Наиболее распространены пассивные схемы, представляющие комбинации соединений активных и реактивных сопротивлений.

Амплитудная фазовая частотная хар-ка для наиболее простой схемы Ф. ц. (рис. 1)

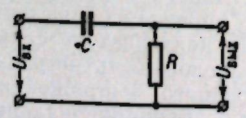


Рис. 1.

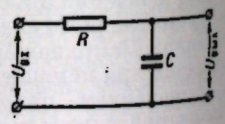


Рис. 2.

имеет вид:

$$\frac{U_{вых}(j\omega)}{U_{вх}(j\omega)} = \frac{T\omega}{\sqrt{T^2\omega^2+1}}\, e^{j\,\mathrm{arctg}\frac{1}{T\omega}},$$

для схемы на рис. 2:

$$\frac{U_{вых}(j\omega)}{U_{вх}(j\omega)} = \frac{1}{\sqrt{T^2\omega^2+1}}\, e^{-j\,\mathrm{arctg}\,T\omega},$$

где $T = RC$, R — сопротивление, C — емкость, $U_{вх}$ и $U_{вых}$ — входное и выходное напряжения, ω — частота колебаний. На

рис. 3 представлены логарифмич. фазовые хар-ки для схем рис. 1 (кривая *1*) и рис. 2 (кривая *2*), при $T = 1$, из к-рых видно, что

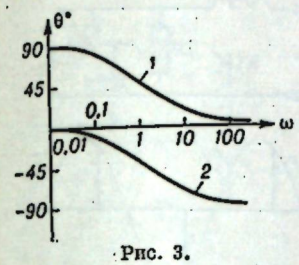


Рис. 3.

рассмотренные Ф. ц. позволяют получить фазовый сдвиг от 0° до 90° (0° — фазовый угол). Схема на рис. 1 дает положит. сдвиг по фазе и применяется в качестве дифференцирующего устройства (см. *Дифференцирующая цепь*), а схема на рис. 2 дает отрицат. сдвиг по фазе и применяется в качестве интегрирующего устройства (см. *Интегрирующая цепь*). С помощью более сложных Ф. ц. можно получить положит. сдвиг по фазе на одном интервале частот и отрицательный — на другом (см. *Интегро-дифференцирующая цепь*).

В практике построения систем автоматич. управления и в радиотехнике часто требуются

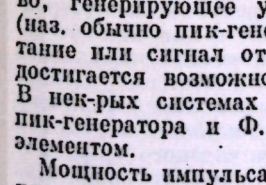


Рис. 4.

устройства, позволяющие менять сдвиг фазы входного гармонич. сигнала на любую величину — фазовращатели. С помощью устройства по схеме на рис. 4 фазу входного сигнала можно менять от 0° до 180°, изменяя сопротивление R. При необходимости получения фазового сдвига от 0° до 360° применяется последоват. соединение неск. простых фазовращателей или строятся спец. более сложные фазовращатели (см. также *Фазосдвигающие устройства*).

Лит.: Основы автоматического регулирования, под ред. В. В. Солодовникова, т. 2, ч. 2, М., 1959; Асеев Б. П., Фазовые соотношения в радиотехнике, 3 изд., М., 1959.

С. Д. Земляков.

ФАЗОСДВИГАЮЩИЕ УСТРОЙСТВА управляемых выпрямителей, вентильных преобразователей (phase shifting devices of controlled rectifiers; dispositifs déphaseurs des redresseurs commandés; phasengeschobener Gleichrichter) — устройства для управления вентильным преобразователем (ВП) (см. *Вентильный преобразователь* и *Управляемый выпрямитель*). Ф. у. является частью системы импульсно-фазового управления ВП. При импульсно-фазовом управлении на управляющий электрод каждого управляемого вентиля, входящего в ВП, подаются периодически с частотой анодного напряжения электрические импульсы, благодаря чему в эти моменты времени вентиль открывается (рис. 1). Угол α, отсчитываемый от момента естественного зажигания вентиля ϑ_1 до момента подачи управляющего импульса ϑ_2, называется углом зажигания или углом управления. Устройство, генерирующее управляющие импульсы (наз. обычно пик-генератором), получает питание или сигнал от Ф. у., благодаря чему достигается возможность изменения угла α. В нек-рых системах управления ВП ф-ции пик-генератора и Ф. у. выполняются одним элементом.

Мощность импульса зависит от вида управляемого вентиля и должна быть достаточной для надежного открывания вентиля. Для *ртутных вентилей* (экситронов) обычно требуется управляющий импульс напряжением 250—350 *в* и током 50—100 *ма*, для др. вентилей — гораздо меньшая мощность: для тиратронов — за счет меньшего тока управления, для *тиристоров* — за счет меньшего напряжения управления.

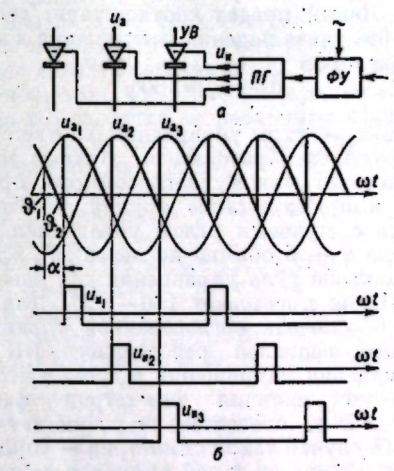


Рис. 1. Импульсно-фазовое управление вентильным преобразователем: *а* — структурная схема; *б* — диаграммы напряжений; *УВ* — управляемый вентиль; *ПГ* — пик-генератор; *ФУ* — фазосдвигающее устройство; u_a — анодные напряжения; $u_и$ — напряжения управляющих импульсов; ϑ_1 — момент естеств. зажигания; ϑ_2 — момент подачи управляющего импульса; α — угол зажигания; ω — круговая частота сети.

Для четкой фиксации момента открывания вентиля крутизна управляющего импульса должна быть достаточно высокой. При многофазном ВП интервалы между управляющими импульсами, подаваемыми на отдельные вентили, должны соответствовать фазности преобразователя: для трехфазной схемы 120°, для шестифазной 60° и т. д.

Продолжительность (ширина) управляющего импульса зависит от вида управляемого вентиля. Для тиристоров достаточно иметь узкий (неск. электрич. градусов) импульс, а для ртутных вентилей в целях предупреждения распыления графита сетки при бомбардировке ее ионами продолжительность управляющего импульса должна быть близка к длительности проводящего периода вентиля. Для тех схем ВП, в к-рых одновременно происходит работа двух вентилей, продолжительность управляющего импульса должна быть не менее нек-рого критич. значения, чтобы непосредственно после включения питания силовой схемы ВП вступил в работу. Так, для схемы преобразователя с уравнит. реактором это значение составляет 30°, а для трехфазной мостовой схемы 60°.

Осн. показатели Ф. у.: диапазон изменения угла управления; возможность согласования управления группами вентилей в случае реверсивного ВП; вид фазовой хар-ки, т. е. зависимости угла α от сигнала управления; возможность суммирования входных сигналов; мощность управления и быстродействие.

Для нереверсивных ВП, работающих обычно на нагрузку индуктивного характера, достаточен диапазон изменения угла управления 90°, желателен 110—120°.

Требуемый диапазон для реверсивных ВП лежит в пределах:

$$180°-2(\gamma+\delta)\leqslant D\leqslant 180°-(\gamma+\delta),$$

где γ — угол коммутации, δ — угол деионизации. Левый предел соответствует согласованию без учета падения напряжения в вентилях, при к-ром

$$\alpha_1+\alpha_2=180°,$$

где α_1 и α_2 — углы управления соответствующих групп преобразователя. Правый предел соответствует такому согласованию, при котором выпрямительную группу удается открывать с нулевым углом управления. Т. к. величина $\gamma+\delta$ обычно не менее 15°, требуемый диапазон угла управления для реверсивных ВП не превышает 150—165°. Для того чтобы обеспечить согласованное управление группами вентилей реверсивного ВП без учета падения напряжения в дугах вентилей, достаточно наличия симметрии фазовой хар-ки Ф. у. относительно точки $\alpha=90°$. Частный случай такой симметрии — линейная фазовая хар-ка, к к-рой обычно и стремятся на практике. Условие согласования с учетом падения напряжения в вентилях записывается в виде:

$$\cos\alpha_1+\cos\alpha_2=2\varepsilon,$$

где ε — относит. падение напряжения в дуге вентиля ($\varepsilon=\Delta U_d/U_{d_0}$).

Единств. форма фазовой хар-ки, при к-рой удается выполнить такое согласование,— арккосинусоидальная:

$$\alpha=\arccos x,$$

где x — относит. сигнал управления. При такой фазовой хар-ке Ф. у. можно получить линейность результирующей хар-ки всего ВП, что очень важно при работе его в системе автоматич. регулирования.

От мощности управления во многом зависит возможность создания простой и надежной системы ВП в целом, т. к. при небольшой мощности управления Ф. у. можно обойтись без промежуточных усилителей, применить различные маломощные элементы бесконтактной логики, вычислит. техники и т. п. Большинство совр. Ф. у. имеет малую мощность управления.

Один из гл. параметров Ф. у.— быстродействие, определяемое временем изменения угла управления ВП. Практич. безынерционность ВП, играющая немаловажную роль при его сравнении с др. видами преобразователей, может быть реализована лишь при высоком быстродействии Ф. у.: считается допустимой инерция порядка периода питающего напряжения.

Устройства для получения импульсов управления ВП могут выполняться на различных принципах. Электромагнитный принцип основан на использовании насыщающегося импульсного тр-ра (см. *Пик-трансформатор*) или насыщающегося дросселя (рис. 2). До насыщения дросселя синусоидальное питающее напряжение приложено практически полностью к обмотке дросселя, а после насыщения — к сопротивлению. В момент насыщения происходит резкий подъем напряжения на сопротивлении, используемый для зажигания управляемого вентиля. Крутизна переднего фронта импульса как в случае импульсного т-ра, так и в случае насыщающегося дросселя определяется качеством материала магнитопровода. Электромагнитные пик-генераторы получают питание от Ф. у. Наибольшее распространение имеют мостовые Ф. у. (рис. 3), в к-рых в качестве регулируемого индуктивного плеча применяется дроссель насыщения, подмагничиваемый током управления. При изменении тока подмагничивания дросселя i_y его индуктивное сопротивление изменяется, и фаза напряжения на нагрузке $U_н$ (т. е. напряжения, питающего пик-генератор) изменяется по отношению к первонач. значению. Для уменьшения мощности управления мостовых Ф.у. и расширения диапазона изменения фазы выходного напряжения применяют различные схемные усовершенствования: введение в силовые обмотки дросселей насыщения вентилей для создания эффекта положит. обратной связи, добавление в цепи питания плеч моста составляющей напряжения от соседней фазы, применение в качестве нерегулируемого плеча емкостного сопротивления и т. д. Достоинства мостовых Ф. у.— простота, надежность, возможность получения большого диапазона изменения угла управления. Недостатки — нестабильность фазы управляющих импульсов при изменении величины и частоты питающего напряжения и нагрузки Ф. у., нелинейность фазовой хар-ки, невысокое быстродействие (при введении положит. обратной связи в дросселях насыщения время перемещения управляющих импульсов по фазе в разные стороны оказывается различным, что приводит к появлению динамич. уравнит. токов в реверсивных схемах ВП).

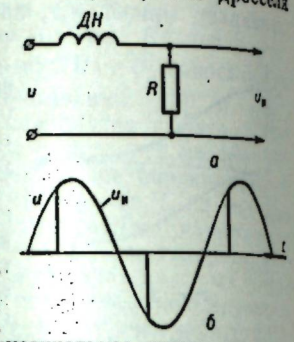


Рис. 2. Пик-дроссель: *а* — схема; *б* — диаграмма напряжений. *ДН* — дроссель насыщения; *R* — сопротивление; *u* — синусоидальное питающее напряжение; $u_н$ — импульсное напряжение.

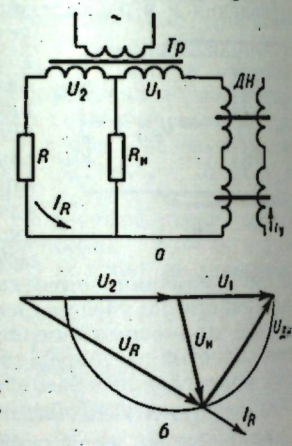


Рис. 3. Мостовое фазосдвигающее устройство: *а* — схема; *б* — векторная диаграмма; *Тр* — трансформатор; *R* — сопротивление активного плеча; $R_н$ — сопротивление нагрузки.

Имеются также электромагнитные устройства, в к-рых объединены ф-ции пик-генератора и Ф. у. Схема одного из них, основанного на применении насыщающегося импульсного тр-ра, дана на рис. 4. Кривые намагничивания дросселей $Д_1$ и $Д_2$ и емкость *C* таковы, что ток в рабочей обмотке *1* импульсного тр-ра *ТИ* имеет форму, близкую к треугольной. Импульсный тр-р имеет еще две обмотки: выходную *2*, напряжение к-рой используется для получения управляющего импульса, и обмотку подмагничивания *3*, обтекаемую током управления i_y. Дроссель $Д_y$ препятствует протеканию перем. составляющей тока в цепи управления под действием эдс, индуктируемой из рабочей цепи. *ТИ* перемагничивается в моменты времени, когда результирующая намагничивающая сила проходит через нуль. В эти моменты в выходной обмотке *ТИ* индуктируется импульс напряжения. Изменяя величину и полярность тока управления, можно регулировать сдвиг по фазе импульсного напряжения. Такое Ф. у. обеспечивает широкий диапазон изменения фазы управляющих импульсов и обладает линейной фазовой хар-кой. Однако в случае применения его для управления ртутными преобразователями хорошее быстродействие достигается при большой мощности управления. Недостатком его также является узкий импульс напряжения.

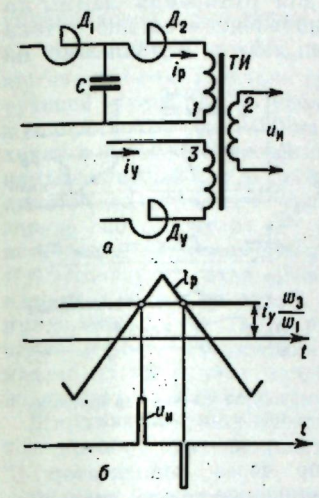


Рис. 4. Фазосдвигающее устройство с импульсным тр-ром: *а* — схема; *б* — диаграммы; w_1 — число витков рабочей обмотки *1*; w_3 — число витков обмотки подмагничивания; $i_р$ — рабочий ток; $u_н$ — импульсное напряжение.

Др. электромагнитное устройство, в к-ром также объединены ф-ции пик-генератора и Ф. у., реализуют принцип однополупериодного *магнитного усилителя*, управляемого либо переменным, либо пост. током (рис. 5). Напряжение на $R_н$, используемое для управления ВП, имеет форму части полуволны синусоиды с крутым передним фронтом, причем фаза этого фронта может меняться в процессе управления. Осн. достоинство такого Ф. у.—его простота и высокое быстродействие, т. к. процесс изменения фазы переднего фронта выходного напряжения всегда оканчивается в течение одного периода питающего напряжения. Поскольку амплитуда переднего фронта изменяется при изменении фазы, то такое Ф. у. удается практически использовать в диапазоне 90—110°, что ограничивает область его применения только нереверсивными схемами ВП. Др. недостаток такого Ф. у.— изменение ширины импульса в процессе изменения фазы.

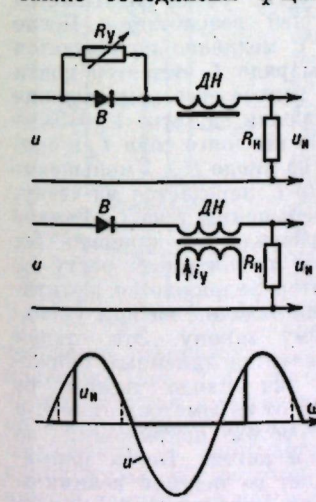


Рис. 5. Фазосдвигающее устройство с однополупериодным магнитным усилителем: *а* — схема с управлением перем. током; *б* — то же, пост. током; *в* — диаграмма напряжений; R_y — сопротивление управления; *B* — вентиль; *u* — синусоидальное питающее напряжение; $u_н$ — импульсное напряжение.

Использование транзисторов для усиления мощности между Ф. у. и пик-генератором позволило сделать собственно Ф. у. чрезвычайно маломощными. Транзисторные системы управления ВП строятся на различных принципах, но во всех случаях Ф. у. лишь управляет источником энергии импульсов, подающихся на ВП. Наиболее удачный и перспективный метод построения Ф. у. транзисторных систем управления ВП — т. н. метод «вертикального» управления. На входе транзисторного усилителя производится наложение переменного (синусоидальной, треугольной или пилообразной формы) и регулируемого пост. напряжений (рис. 6). В момент равенства этих напряжений,

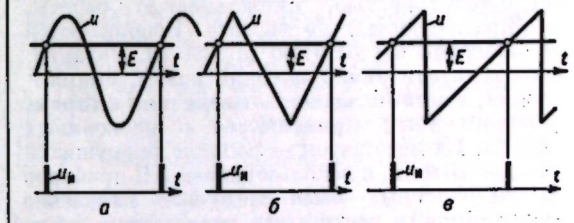


Рис. 6. «Вертикальный» принцип фазового управления: *а* — синусоидальное напряжение; *б* — напряжение треугольной формы; *в* — напряжение пилообразной формы; *u* — перем. напряжение; *E* — напряжение управления; $u_н$ — импульсное напряжение.

когда их разность изменяет знак, чувствит. усилитель запускает выходное устройство (обычно блокинг-генератор), к-рое выдает управляющий импульс требуемой мощности и продолжительности. Транзисторные системы позволяют получить широкий диапазон изменения фазы управляющих импульсов; они практически безынерционны, высокостабильны, обладают малой мощностью управления и хорошими фазовыми хар-ками. Их недостаток — чувствительность к превышению окружающей темп-рой нек-рого критич. значения. Однако соответствующими схемными решениями и тщательным выбором параметров можно обеспечить надежную работу транзисторных систем управления даже при 60—65°.

Лит.: Каганов И. Л., Электронные и ионные преобразователи, ч. 3, М.—Л., 1956; Шипилло В. П., Системы сеточного управления ртутными выпрямителями для автоматических электроприводов, М.—Л., 1961.

В. П. Шипилло.

ФАЗОЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ НУЛЬИНДИКАТОР, указатель (phase-sensitive null indicator; indicateur à méthode de zéro sensible à la phase; phasenempfindlicher Nullindikator) — устройство, чувствительное к амплитуде входного напряжения $\dot{U}_x$ и разности фаз между $\dot{U}_x$ и нек-рым опорным (управляющим) $\dot{U}_o$ напряжениями. Показание Ф. н. определяется зависимостью $\alpha=kU_x\cos(\hat{\dot{U}_x,U_o})$ или $\alpha=kU_x\sin(\hat{\dot{U}_x,U_o})$. Устройство позволяет отметить равенство нулю исследуемого напряжения или момент выполнения нек-рых фазовых соотношений (в большинстве случаев 0°, 90°, 180°) между двумя напряжениями независимо от их амплитуд. Ф. н.

применяется, в частности, в мостовых и компенсац. цепях для определения момента достижения нек-рого заданного состояния (равновесия, квазиравновесия). В отличие от измерителей, Ф. н. может не иметь шкалы, проградуированной в к.-л. единицах, поэтому в качестве выходного устройства, кроме стрелочных приборов, применяются ЭЛТ, электронные индикаторы настройки и др. Ф. н. должен обладать след. наиболее важными св-вами: иметь высокую чувствительность при малом сигнале, хорошую стабильность нуля, выдерживать большие перегрузки и в нек-рых случаях обладать избирательностью по частоте. В качестве Ф. н. применяются электродинамич. и ферродинамич. гальванометры с независимым возбуждением, механич. выпрямители, управляемые выпрямители на полупроводниковых приборах и электронных лампах. Электродинамич. и ферродинамич. Ф. н. характеризуются достаточно высокой чувствительностью, стабильностью работы, избирательностью по частоте. Используются в диапазоне частот от 40 до 1000 *гц*. Механич. выпрямители имеют высокий коэфф. выпрямления, к-рый не зависит от величины выпрямленного тока; применяются в низкоомных цепях. Их недостаток — наличие движущихся частей. В Ф. н. с использованием ПП приборов и электронных ламп требуемое изменение проводимости достигается посредством действия достаточно большого управляющего напряжения, имеющего прямоугольную или синусоидальную форму. Используются в цепях, работающих на звуковых и повышенных частотах.

Лит.: Куликовский Л. Ф., Мелик-Шахназаров А. М., Компенсаторы переменного тока, М.—Л., 1960; Карандеев К. Б., Специальные методы электрических измерений, М.—Л., 1963; Мізюк Л. Я., Електронні показчики змінної напруги, К., 1960. *К. Б. Карандеев.*

ФАНТАСТРОН [phantastron; phantastron (générateur de tensions en dents de scie); Phantastron] — однокаскадный ламповый генератор релаксац. колебаний, создающий импульсы напряжения, изменяющегося пропорционально времени (импульсы линейно возрастающего или линейно падающего напряжения). Ф. широко применяется в радиотехнике, автоматике и телемеханике для точной регулируемой задержки импульсов во времени, определения временно́го интервала между импульсами, генерации пилообразного напряжения «поиска» в схемах автоподстройки частоты. В качестве активного усиливающего элемента в схеме Ф. используются электронные лампы — пентоды или пентагриды. В типичной схеме Ф. с катодной связью на пентоде (рис. 1,*а*) при отсутствии запускающего импульса на защитной сетке через катодное сопротивление $R_к$ протекают токи управляющей и экранирующей сеток, создающие на нем падение напряжения, достаточное для запирания лампы по защитной сетке. Поэтому в исходном состоянии лампа заперта по анодному току и напряжение на ее аноде равно напряжению источника $E_а$, катод лампы положителен относительно отрицат. полюса источника питания, положит. напряжение $U_с$ (рис. 1,*б*) несколько превышает $U_к$, ток экранирующей сетки велик и напряжение на ней минимально. Конденсатор связи C заряжен до напряжения $E_а - I_к R_к$ ($I_к$ — катодный ток в состоянии покоя). Такое состояние устойчиво и может длиться сколь угодно долго. Для запуска Ф. на защитную сетку подается кратковрем. положит. импульс, величина к-рого достаточна для отпирания лампы по анодному току. С появлением анодного тока скачкообразно уменьшается напряжение на

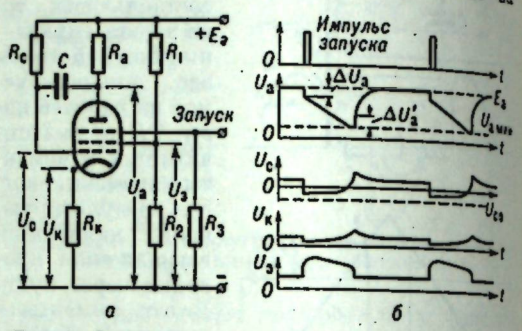


Рис. 1. Фантастрон с катодной связью на пентоде: *а* — схема; *б* — эпюры напряжений.

аноде лампы, к-рое через конденсатор C передается на управляющую сетку, уменьшая ток экранирующей сетки. Это вызывает уменьшение напряжения на сопротивлении $R_к$, отрицательное по отношению к защитной сетке, анодный ток лампы увеличивается и напряжение на аноде уменьшается. Падение напряжения на аноде передается на управляющую сетку, вызывая дальнейшее уменьшение тока экранирующей сетки, отрицат. смещения на защитной сетке и т. д. Этот процесс протекает лавинообразно в течение времени, измеряемого долями *мксек*. В результате напряжение на аноде $U_а$ уменьшается на нек-рую величину $\Delta U_а$, на такую же величину уменьшается напряжение $U_с$ и становится близким к потенциалу запирания $U_{сз}$. Напряжение на катоде падает почти до нуля, ток экранирующей сетки резко уменьшается и напряжение на ней возрастает. После скачка конденсатор C медленно разряжается через лампу. Ток разряда $I_с$ остается почти неизменным, т. к. всякое его уменьшение ведет к росту напряжения на сетке $U_с = E_а - I_с R_с$, к увеличению анодного тока $I_а$ и снижению напряжения на аноде $U_а$. Уменьшение $U_а$ через конденсатор C передается на сетку, что препятствует уменьшению тока $I_с$. Всякое увеличение тока разряда $I_с$ привело бы к уменьшению $I_а$, что препятствует росту $I_с$. Поскольку конденсатор разряжается практически пост. током, напряжение на нем уменьшается по линейному закону. Эта стадия работы Ф. характеризуется линейным снижением напряжения на аноде лампы со скоростью, зависящей от параметров схемы, и весьма медленным ростом напряжений на управляющей сетке и катоде. Когда напряжение на аноде упадет до нек-рой величины $U_{а\,мин}$, напряжение на сетке перестает управлять анодным током. Действие обратной связи между анодом и сеткой резко ослабляется, и ток разряда конденсатора C, не стабилизируемый более, начинает резко падать, а напряжение на управляющей сетке — увеличиваться. В результате увеличивается ток экранирующей сетки, растет напряжение на сопротивлении $R_к$, отрицательное по отношению к защитной сетке. Это приводит к уменьшению анодного тока, росту напряжений на аноде и управляющей сетке, дальнейшему увеличению тока экранирующей сетки и т. д.

Развивается обратный скачок: анодный ток уменьшается, напряжение на аноде скачком возрастает на величину $\Delta U'_а$, напряжение на управляющей сетке также скачком возрастает на величину $\Delta U'_с = \Delta U'_а$ и становится положительным относительно катода. Ток экранирующей сетки резко увеличивается, напряжение на ней падает. Схема окончательно приходит в первонач. состояние после того, как напряжение на аноде экспоненциально поднимется до исходного уровня $E_а$ вследствие заряда конденсатора C через цепь: плюс источника анодного питания, сопротивление $R_а$, промежуток сетка — катод, сопротивление катодной нагрузки $R_к$. Т. о., на каждый импульс запуска Ф. генерирует импульс, в течение к-рого напряжение на аноде лампы падает по линейному закону, а на катоде — возрастает по линейному закону.

Широко распространены схемы Ф. на гептоде-преобразователе (пентагриде). Принцип

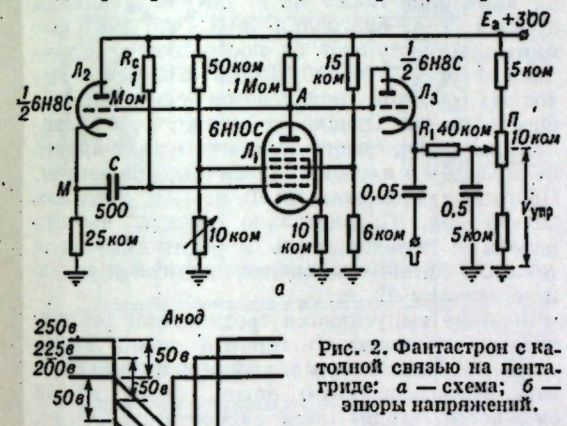


Рис. 2. Фантастрон с катодной связью на пентагриде: *а* — схема; *б* — эпюры напряжений.

их работы такой же, как Ф. на пентоде. Гетеродинная (3-я) сетка пентагрида используется в качестве защитной, а защитная сетка пентагрида соединяется накоротко с катодом (рис., 2 *а*). В практич. схемы Ф. часто входят вспомогат. цепи. Лампа $Л_3$ предназначена для регулирования длительности прямого хода пилообразного напряжения (рис. 2, *б*); лампа $Л_2$ (катодный повторитель) — для уменьшения времени восстановления схемы (времени заряда емкости C). Конденсатор C заряжается через катодный повторитель, промежуток сетка — катод открытой лампы $Л_1$ и катодное сопротивление со значительно меньшей постоянной времени, т. к. выходное сопротивление катодного повторителя невелико.

С помощью Ф. получают импульсы линейно изменяющегося напряжения длительностью от неск. *мксек* до десятков *мксек*. Ф. без заряда конденсатора C через катодный повторитель можно снова возбудить по истечении времени, составляющего примерно 50% от длительности импульса. При использовании катодного повторителя повторное возбуждение возможно после заряда межэлектродной емкости анод — катод Ф., т. е. практически через 40—50 *мксек*. Нелинейность выходного напряжения Ф. не превышает 1%. При колебаниях напряжения анодного источника на ±10% длительность импульса меняется прибл. на ± (0,1—0,2)%. Изменение напряжения накала вызывает нестабильность обратного знака; поэтому при питании анода и накала от одного источника происходит компенсация нестабильностей, и в Ф. обычно не применяют стабилизацию анодного напряжения. Длительность импульса изменяется примерно на 0,02% на каждый градус изменения темп-ры. При использовании деталей с температурной компенсацией на практике удается получить весьма малую нестабильность — всего 0,5% при температурном перепаде от —50 до +70° С.

Иногда термин «Ф.» используется применительно к генератору с линейным разрядом конденсатора и транзитронной обратной связью [1], работающему в ждущем режиме. Такая схема наз. Ф. с экранной связью, в отличие от Ф. с катодной связью.

Лит.: 1) Кривицкий Б. Х., Элементы и устройства импульсной техники, 2 изд., М., 1961; 2) Ицхоки Я. С., Импульсные устройства, М., 1959; 3) Меерович Л. А., Зеличенко Л. Г., Импульсная техника, М., 1953.

Л. Л. Москвитин.

ФЕРМИ КВАЗИУРОВЕНЬ (Fermi quasi-level; quasi-niveau de Fermi; Fermi'sches Quasiniveau) — хар-ка неравновесного распределения носителей заряда в ПП при наличии их инжекции или генерации. Распределение носителей заряда в условиях равновесия задается ф-цией Ферми

$$n(E) = 1/\left(\exp\frac{E-\mu}{kT}+1\right), \qquad (1)$$

где E — энергия носителей заряда, μ — уровень Ферми (хим. потенциал электронного газа в расчете на 1 электрон, или энергетич. уровень, ф-ция Ферми для к-рого равна половине при темп-рах, отличных от абс. нуля), T — темп-ра, k — постоянная Больцмана. В случае инжекции или генерации избыточных носителей заряда распределение становится неравновесным, но благодаря тому, что время релаксации носителей по энергии, составляющее 10^{-10}—10^{-12} сек., оказывается много меньше, чем время рекомбинации (последнее, как правило, не меньше чем 10^{-7}—10^{-8} сек.), носители успевают на много быстрее прийти в тепловое равновесие с колебаниями решетки, прежде чем рекомбинировать. Это позволяет записать выражение для распределения носителей заряда в отсутствие равновесия $n^*(E)$ в форме (1), с той разницей, что уровень Ферми μ заменяется нек-рой эффективной величиной μ^*, наз. Ф. к.:

$$n^*(E) = 1/\left(\exp\frac{E-\mu^*}{kT}+1\right). \qquad (2)$$

В случае отсутствия вырождения, когда концентрации электронов и дырок

$$\left.\begin{aligned} n &= N_c \exp(\mu/kT), \\ p &= N_v \exp(-\mu/kT), \end{aligned}\right\} \qquad (3)$$

Ф. к. μ_n^* и μ_p^* (вообще говоря, разные для электронов и дырок) определяются выражениями:

$$\left.\begin{aligned} \mu_n^* - \mu &= kT \ln(n^*/n), \\ \mu_p^* - \mu &= -kT \ln(p^*/p), \end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

где n (p) и n^* (p^*) — равновесная и неравновесная концентрации электронов (дырок). Когда концентрации носителей n^* и p^* меняются по длине образца μ_n^* и μ_p^* оказываются, как это видно из ф-л (4), различными в разных точках.

Лит.: Ансельм А. И., Введение в теорию полупроводников, Л.—М., 1962; Полупроводники в науке и технике, т. 1, М.—Л., 1957, гл. 3, 6; Шокли В., Теория электронных полупроводников, пер. с англ., М., 1953.

Р. А. Сурис.

ФЕРРИТДИОДНАЯ ЯЧЕЙКА, ферритдиодный элемент (ferrite diode cell; cellule à ferrites et à diodes; Ferritdiodenzelle), — схема, сочетающая способность ферритового сердечника временно хранить и усиливать сигналы с разделительными св-вами диода. По принципу действия Ф. я. принадлежит к группе гистерезисных элементов, т. к. в обычном режиме ее работы используется одна из двух точек остаточного намагничивания сердечника $+B_r$ или $-B_r$ (рис. 1, *а*).

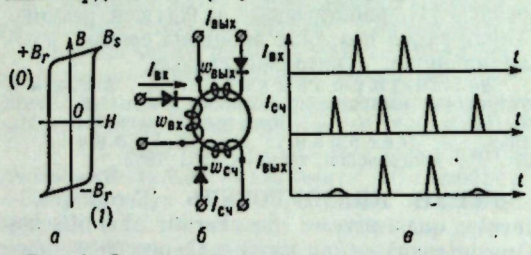


Рис. 1. Ферритдиодная схема: *а* — петля гистерезиса феррита; *б* — принципиальная схема ферритдиодной ячейки; *в* — временная диаграмма.

По типу работы Ф. я. относится к импульсным (динамическим) элементам синхронного действия. Она работает следующим образом (рис. 1,*б*): пусть сердечник находится в состоянии *0* ($+B_r$) и полярность обмоток такая, как показана на рис. 1. При подаче импульса считывания в сердечнике создаются ампервитки, действующие в направлении от $+B_r$ к $-B_r$. При этом в результате прямоугольности петли гистерезиса феррита происходит лишь небольшое изменение потока в сердечнике, и в выходной обмотке наводится незначит. импульс помехи (рис. 1, *в*). В случае подачи сигнала на входную обмотку в выходной обмотке будет индуктироваться эдс, но протекание тока ограничится обратным сопротивлением диода (т. о. диод в Ф. я. используется как препятствие для обратного потока информации). В сердечнике произойдет запоминание поступившей информации. При подаче считывающего сигнала сердечник опять возвращается в нулевое состояние. При этом в выходной обмотке индуктируется эдс, и в выходной цепи протекает ток, поскольку полярность эдс такова, что диод не препятствует этому. Считывание информации в таких схемах сопровождается ее разрушением.

Ф. я. могут использоваться в однотактных и многотактных схемах. На рис. 2 показан однотактный регистр сдвига на Ф. я. Обмотки считывания всех сердечников включены последовательно. Если в 1-м сердечнике записана *1*, а в остальных *0*, то подачей считывающего импульса происходит перемагничивание 1-го сердечника в состояние *0*. При этом в его выходной обмотке индуктируется сигнал, к-рый заряжает через диод конденсатор C. После окончания считывающего импульса конденсатор разряжается через обмотку последующего сердечника, перемагничивая его в состояние *1*. Т. о. звено RC выполняет роль временной задержки сигнала. Вместо цепочки

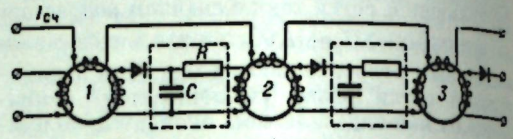


Рис. 2. Однотактный регистр сдвига на ферритдиодной ячейке.

RC можно применить любые другие типы задерживающих звеньев.

Логич. схемы, построенные на базе однотактных Ф. я., при всей их простоте не нашли распространения в связи с малой помехозащищенностью, что объясняется нестабильностью параметров звеньев временной задержки. Более широко применяются двух- и трехтактные элементы, где роль временной задержки выполняет также Ф. я. Эффект усиления присущ Ф. я. благодаря тому, что тактовые импульсы поступают от постороннего источника энергии, а число витков входных и выходных обмоток подбирается соответствующим образом. Однако усиление Ф. я. невелико, и выход одного элемента может питать не более 3—5 входов аналогичных элементов. Частотные возможности Ф. я. — в пределах 20—30 *кгц*. Сравнительно низкая частота работы и необходимость мощных импульсов тока для питания элементов являются также недостатками Ф. я.

Серийно выпускаются трехтактные ферритдиодные элементы. В типовой набор логич. элементов, используя к-рый можно реализовать функциональную логич. схему любой сложности, входят такие элементарные Ф. я., как ячейка запрета, динамич. триггер, ячейка разноименности, ячейка задержки, ячейка совпадения на два и на три входа, генерирующая ячейка, мощная ячейка и др.

Лит.: Еремеев И. С., Панасюк Л. С., Устройства автоматики на магнитных элементах, Киев, 1963.

В. М. Сташевский.

ФЕРРИТОВАЯ МАТРИЦА (ferrite matrix; matrice à ferrites; Ferritmatrize) — часть *куба ферритового* запоминающего устройства на магнитных элементах, обеспечивающая коммутацию большого числа сердечников со схемами выборки, записи и считывания информации. Электрич. схему и конструкцию Ф. м. определяет организация выборки информации в ЗУ. Известны два осн. типа Ф. м.: 1) для ЗУ с линейной выборкой информации и 2) для ЗУ с плоской выборкой информации. Первые представляют собой законченный накопит. блок на $\frac{N}{m}$ n-разрядных кодов (N — емкость ферритового куба, m — число Ф. м. в ферритовом кубе, n — разрядность ЗУ), вторые — законченный накопит. блок на N одноразрядных кодов.

Ф. м. ЗУ с линейной выборкой информации состоит из двух частей (рис. 1): магнитных, диодных или диодно-трансформаторных вентилей оконечной ступени дешифрации адреса и запоминающих сердечников (числовые линейки). Конструктивно такая Ф. м. выполнена в виде рамки из изоляц. материала с 2 рядами контактов с 3 или 4 сторон. Рамка разделена на 2 части. Бо́льшая часть отводится для запоминающих сердечников, меньшая — для размещения тр-ров и диодов схемы дешифрации. Магнитные вентили имеют общую обмотку тока смещения, состоящую из одного витка. Предусматриваются контрольные измерит.

запоминающих сердечниках. Через каждый запоминающий сердечник проходят не менее 4 проводов. Параметры нек-рых Ф. м. приведены в таблице.

ЗУ ЦВМ	Количество кодов в ферритовой матрице	Разрядность кодов	Количество трансформаторов	Количество диодов	Количество сердечников	Габариты (*мм*)
БЭСМ (СССР)	64	39	64	—	4992	450×500×15
«Равдан-2» (СССР)	64	40	64	128	2560	300×500×12
ТХ-2 (США)	65536	1	—	—	65536	787,4×787,4×12,7

сопротивления в числовых линейках, резервные тр-ры, диоды, сердечники. Все обмотки, как правило, одновитковые. Через каждый запоминающий сердечник проходят 3 провода.

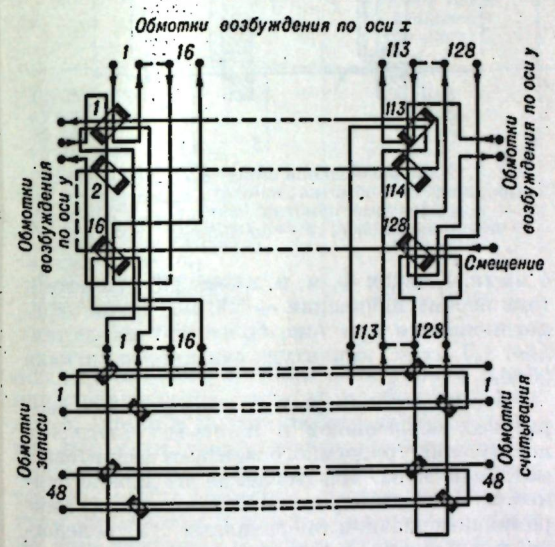


Рис. 1. Электрич. схема ферритовой матрицы ЗУ с линейной выборкой информации.

В Ф. м. для ЗУ с плоской выборкой информации (рис. 2) имеются только запоминающие сердечники, к-рые расположены правильными рядами в виде строк y и столбцов x. Ф. м.

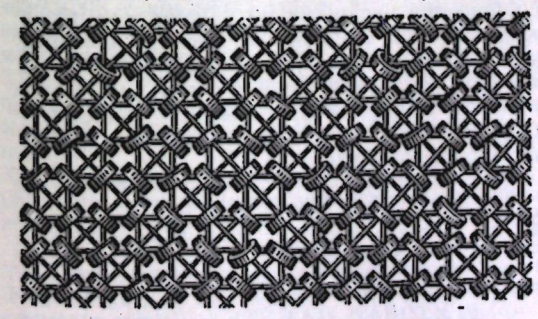


Рис. 2. Ферритовая матрица ЗУ с плоской выборкой информации (увелич. участок).

с четырех сторон окружена контактами. В электрич. схеме этих Ф. м. (рис. 3) осн. внимание уделяется прокладке обмотки считывания. Для уменьшения электрич. помех от тока записи обмотка считывания проложена по диагонали Ф. м. Для компенсации помех от полувыбранных сердечников обмотка считывания секционируется и прошивается в противоположных направлениях в двух соседних

Осн. требования к Ф. м.: 1) миним. реактивные сопротивления обмоток выборки, записи и считывания; 2) макс. надежность контактов, паек, изоляции при пересечении проводов

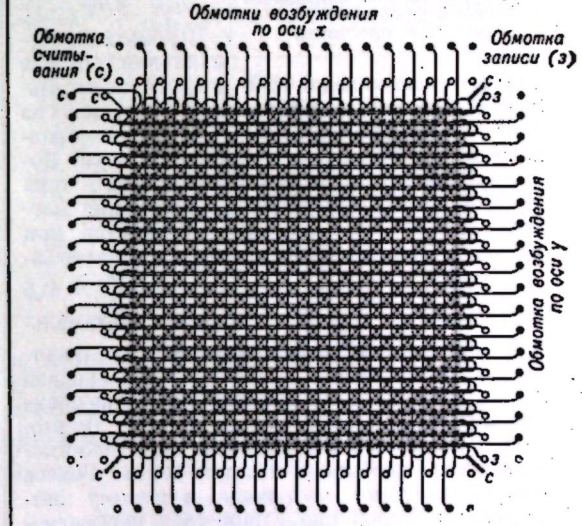


Рис. 3. Электрич. схема ферритовой матрицы ЗУ с плоской выборкой информации.

и сердечников; 3) удобство замены в ферритовом кубе одной Ф. м. другой; 4) возможность автоматической сборки сердечников в Ф. м.; 5) возможность регулирования окружающей темп-ры сердечников. Тенденции развития Ф. м. — уменьшение габаритов и автоматизация изготовления. Это связано с дальнейшим повышением быстродействия и емкости ЗУ и микроминиатюризацией электронной аппаратуры. Осн. пути решения этих задач — применение для Ф. м. *магнитных тонких пленок*, сплошных ферритовых пластин и использование тканых (ковровых) способов пришивки сердечников.

Лит.: Крайзмер Л. П., Быстродействующие ферромагнитные запоминающие устройства, М.—Л., 1964.

А. В. Гусев.

ФЕРРИТОВАЯ МНОГООТВЕРСТНАЯ ПЛАСТИНА (ferrite multihole plate; plaque en ferrite à trous multiples; Mehrlochferritplatte) — пластина из ферромагнитного материала с фиксированной сеткой отверстий, с прямоугольной петлей гистерезиса, используемая как *носитель информации* в ЗУ. Каждое отверстие заменяет один сердечник. Двоичная информация запоминается, благодаря изменению состояния намагниченности того или иного направления в прилегающем к отверстию кольцевом слое. При протекании тока через отверстие напряженность магнитного поля

в радиальном направлении постепенно ослабевает (рис. 1):

$$H(r)=\frac{I}{5r},$$

где H — напряженность поля (э), I — намагничивающий ток (а), r — радиус рассматриваемого слоя (см). Вся область, в к-рой напряженность магнитного поля превысит коэрцитивную силу материала $H_к$, будет намагничена в одном направлении. Граничный радиус R этой области находится по ф-ле:

$$R=\frac{I}{5H_к}.$$

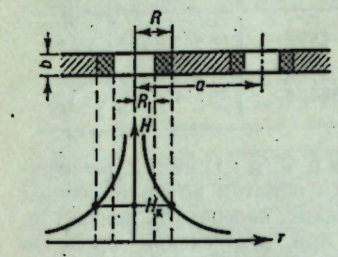


Рис. 1. Схема запоминающего элемента ферритовой многоотверстной пластины.

Перемагничиваемая током I область около отверстия ведет себя аналогично отдельному сердечнику того же геометрич. размера из того же материала. Однако Ф. м. п. по сравнению с сердечниками имеют недостатки. Во-первых, амплитуда намагничивающего тока ограничена из-за возможного изменения магнитного состояния соседних элементов при расширении зоны намагничивания данного запоминающего элемента. Отношение $\frac{2R_1}{a}=0{,}5$ соответствует прибл. середине оптимальной области, в к-рой практически отсутствует связь между отверстиями, выходной сигнал близок к максимальному и отношение сигнал/помеха удовлетворительное. Во-вторых, с увеличением амплитуды намагничивающего тока перемагничивается бо́льшая масса ферромагнитного материала и поэтому затрудняется ускорение процессов перемагничивания.

Ф. м. п. отливаются из порошка, к-рый аналогичен порошку для ферритовых сердечников, отжигаются и шлифуются. На них можно наносить печатные обмотки. Для получения печатной обмотки на обеих сторонах Ф. м. п. (рис. 2) предусматриваются сетки выступающих ребер *1*, сдвинутые на отверстие друг относительно друга. Пластина металлизируется, а с ребер металлизация удаляется шлифовкой. Оставшаяся часть металлизации *2* образует проводник, последовательно проходящий через все отверстия пластины.

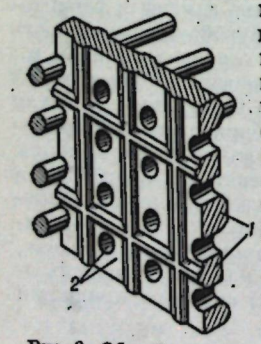


Рис. 2. Общий вид ферритовой многоотверстной пластины.

Ф. м. п. используются для построения оперативных ЗУ по схемам плоской и линейной выборки. При первой схеме через каждое отверстие необходимо пропустить координатные обмотки x и y, при второй схеме — обмотку z числовой линейки. Печатная обмотка является общей для подачи разрядного тока и съема считанного сигнала. Схема дешифрации на магнитных вентилях собирается из аналогичных Ф. м. п. Ток смещения в вентилях может подаваться через печатную обмотку (рис. 3).

На Ф. м. п. (напр., в США) изготовлено ЗУ на 4096 шестнадцатиразрядных чисел по схеме плоской выборки с временем обращения

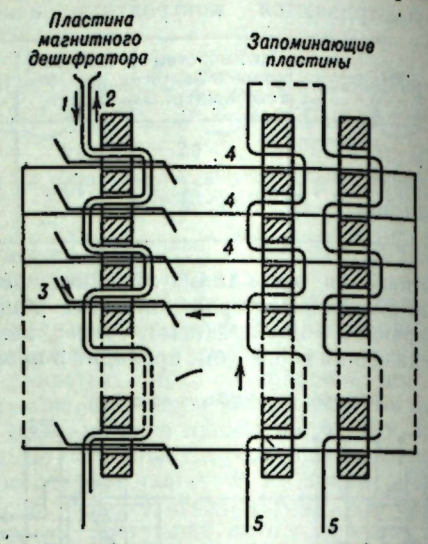


Рис. 3. Схема размещения обмоток в ЗУ с линейной выборкой: *1* — обмотка токового смещения; *2* и *3* — координатные обмотки x и y; *4* — обмотки числовых линеек; *5* — разрядная обмотка.

4 *мксек*. Каждая Ф. м. п. имеет 256 отверстий, токи перемагничивания $\sim$ 500 *ма*, время перемагничивания при токе более 250 *ма* составляет 1,7 *мксек*, амплитуда считанного сигнала 30 *мв*.

Преимущества Ф. м. п.: 1) они дешевле ферритовых сердечников в произ-ве благодаря исключению трудоемкого монтажа ферритовых матриц и куба. Изготовление их можно полностью автоматизировать; 2) возможность микроминиатюризации оперативных ЗУ вследствие уменьшения размеров отверстий, меньшей мощности управления, единства конструкции запоминающих и дешифрирующих Ф. м. п.; 3) расширение температурного диапазона работы ЗУ из-за легкости термостатирования ферритового куба небольших габаритов. Перспективы развития Ф. м. п. — дальнейшее уменьшение габаритов отверстий и пластин; сокращение разбросов по параметрам отдельных отверстий в одной пластине при одновремен. увеличении объема хранимой каждой Ф. м. п. информации; построение Ф. м. п. с большим объемом хранимой информации, использующих принцип перераспределения магнитных потоков (*трансфлюксор*).

Лит.: 1) Ферритовые платы для запоминающего устройства, «Экспресс-информация. Вычислительная техника», 1957, вып. 32, № 126—129; 2) Meinken R. H., Ferrite sheet memory, «Proc. Electronic Components Conf.», 1960, May, p. 105—10; 3) Хавкин Г. А., Запоминающие устройства цифровых вычислительных машин, М., 1961.
А. В. Гусев.

ФЕРРИТОВАЯ ПАМЯТЬ (ferrite storage; mémoire à ferrites; Ferritspeicher) — оперативное ЗУ, в к-ром *носителями информации* служат ферритовые запоминающие элементы (ферритовые сердечники, ферритовые платы, трансфлюксоры, биаксы). Ф. п. использует св-ва нелинейности петли гистерезиса и является ЗУ с произвольной выборкой информации. В некоторых Ф. п. обеспечивается считывание без разрушения информации (см. *Считывание информации неразрушающее*), но в большинстве случаев считывание происходит с разрушением информации.

Преимущества Ф. п.: малое время переключения, высокая надежность (практически неогранич. срок службы), компактность и относительно несложные производственно-технологич. процессы изготовления ферритовых запоминающих элементов. Недостатки Ф. п.: существенная зависимость параметров ферритовых запоминающих элементов от темп-ры и сравнительно большие мощности, потребные для их перемагничивания. Ф. п. на тороидальных ферритовых сердечниках (наиболее распространенных) обеспечивает хранение 10^4—10^6 двоичных знаков и время обращения 1—20 *мксек* (см. табл.). Сотни тыс. сердечников управляются сотнями электронных ламп или транзисторов, при этом обеспечивается поиск, прием и выдача любого из неск. десятков тыс. слов. Способы расположения сердечников и схемы их соединения выбираются такими, чтобы сократить количество аппаратуры управления и добиться надежной работы ЗУ при заданных быстродействии и емкости. Осн. путь сокращения аппаратуры управления — использование у ферритовых сердечников пороговых св-в, обусловленных прямоугольной петлей гистерезиса, как схем совпадения при дешифрации адреса. С этой точки зрения структурные схемы Ф. п. делятся на 3 группы: 1) со считыванием и записью информации по совпадению токов (ЗУ с плоской выборкой, ЗУ полутоков, матричное ЗУ, ЗУ матричного типа, ЗУ типа XY, трехмерное ЗУ); 2) со считыванием полным током и записью по совпадению токов (ЗУ с линейной выборкой, ЗУ полного тока, ЗУ с непосредств. выборкой, ЗУ типа Z, двухмерное ЗУ); 3) со считыванием и записью полными токами (ЗУ с точечной выборкой, трехсердечниковое ЗУ).

Параметры ферритовой памяти нек-рых ЭВМ

ЭВМ	Емкость ферритовой памяти (количество слов)	Разрядность ферритовой памяти	Время обращения (*мксек*)	Схема выборки слов	Осн. элементы
БЭСМ (СССР)	2048	39	10	линейная	лампы
«Урал-2» (СССР)	4096	20	15	плоская	лампы
М-20 (СССР)	4096	45	6	линейная	лампы
«Раздан-2» (СССР)	2048	36	25	линейная	ПП
«Минск-2» (СССР)	4096	37	20	плоская	ПП
ТХ-2, *s*-память (США)	65536	37	6,5	плоская	ПП
ТХ-2, *x*-память (США)	64	19	4,1	линейная	лампы и ПП
ИБМ-7030 («Стретч»; США)	16384—262144	64	2,2	плоская	ПП
«Эллиот-503» (Англия)	4096—8192	—	3	плоская	ПП
«Атлас» (Англия)	16384	48	2	плоская	ПП
«Гамма-60» (Франция)	8192—32768	27	10	плоская	ПП
НЕАК-2206 (Япония)	4000—10000	—	50	—	ПП

Ф. п. со считыванием и записью по совпадению токов. Запоминающие сердечники пронизываются четырьмя или шестью обмотками (проводами, шинами) в плоскости XY (рис. 1): одна или две обмотки горизонт. выбора сердечников при считывании и записи; одна или две обмотки вертикального выбора сердечников; две обмотки считывания и записи, общие для всех сердечников плоскости XY. Каждый сердечник выполняет одновременно ф-ции схемы совпадения при считывании и записи и элемента запоминания. Сердечники плоскости XY образуют ЗУ на один разряд.

Возбуждая две координаты x_i и y_i токами одной или др. полярности, меньшими по амплитуде, чем пороговое значение коэрцитивной силы, осуществляют перемагничивание сердечников одного слова (ячейки) по координате z_{ii}. Запись или регенерация слов проводится индивидуально в каждый сердечник, поэтому в каждой разрядной плоскости XY возбуждается третий ток в соответствии с той информацией, к-рую надо записать в сердечник данного разряда. Для возбуждения каждой координаты необходимо иметь отдельный формирователь двуполярных токов или две обмотки по одной координате и два формирователя однополярных токов. Обычно *ферритовая матрица* в плоскости XY проектируется квадратной и содержит N сердечников, что соответствует емкости Ф. п. Тогда число координатных формирователей минимально и равно $2\sqrt{N}$ двуполярных или $4\sqrt{N}$ однополярных. Общее

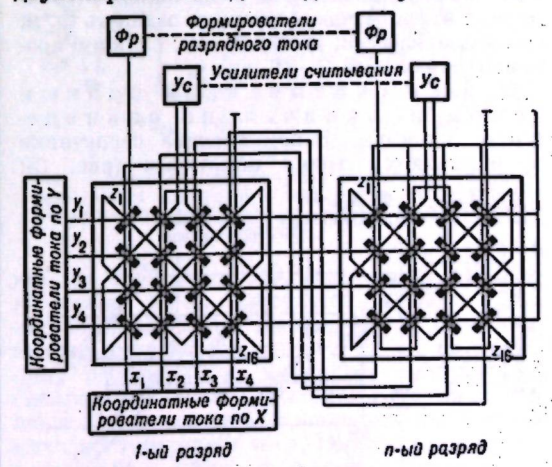


Рис. 1. Ферритовая память со считыванием и записью по совпадению токов.

количество формирователей $S=2\sqrt{N}+n$, или $S=4\sqrt{N}+n$, где n — разрядность ЗУ.

При выборе к.-л. $x_i\,y_i$ сердечника частично возбуждается координатными токами $2(\sqrt{N}-1)$ сердечников, находящихся в одном ряду и столбце с выбранным сердечником, и разрядным током — N сердечников. При этом возможны потери информации из-за размагничивания сердечников и помехи при считывании. Многократное действие считывающих токов может постепенно привести к размагничиванию полувыбранных сердечников, хранящих код *1*, а многократное

действие записывающих токов — к размагничиванию сердечников, хранящих код *1* или *0*. Разрушение магнитного состояния зависит от амплитуды импульсов токов, их длительности и количества, а также от прямоугольности петли гистерезиса. Помеха от полувозбужденных сердечников, возникающая при считывании из-за непрямоугольности петли гистерезиса, при большой емкости может превысить полезный сигнал. Амплитуда помехи существенно зависит от хранящейся информации. Способы уменьшения помех: 1) компенсация осн. части помехи попарным вычитанием помех от двух соседних сердечников путем соответствующей прошивки обмотки считывания; 2) повышение коэфф. прямоугольности и квадратности петли гистерезиса; 3) временна́я и амплитудная селекция полезных сигналов, интегрирование помех и считанных сигналов при усилении, сдвиг по времени передних фронтов считывающих токов, секционирование обмотки считывания.

Недостатки Ф. п. со считыванием и записью по совпадению токов: 1) наличие нескомпенсированной помехи

$$e_п = -2e_2 + (\sqrt{N}-2)e_3,$$

где $e_п$ — эдс суммарной помехи, e_2 — эдс нескомпенсиров. помехи, e_3 — эдс разности помех от двух сердечников, хранящих код *1* и *0*; 2) жесткие допуски на ферритовые сердечники и токи (~ 5%), приводящие к малому температурному диапазону работы; 3) ограничение времени обращения (неск. *мксек*) из-за использования ферритовых сердечников как схем совпадения при считывании и при записи. Преимущества: самая простая и экономичная схема выборки сердечников в трехмерной матрице, позволяющая создавать Ф. п. емкостью на неск. десятков тыс. слов и с временем обращения 2—10 *мксек*.

Ф. п. со считыванием полным током и записью по совпадению токов. Запоминающие сердечники пронизываются тремя обмотками (рис. 2):

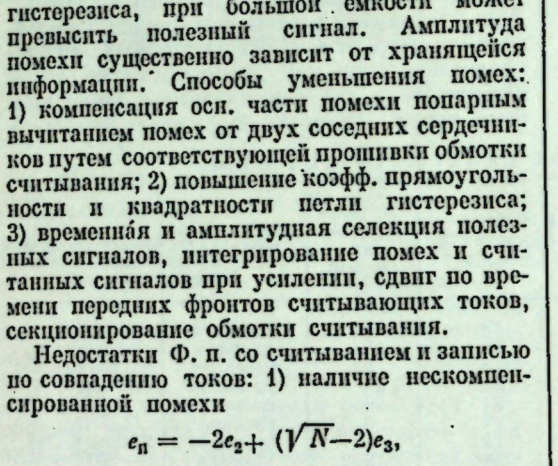


Рис. 2. Ферритовая память со считыванием полным током и записью по совпадению токов.

одной обмоткой, проходящей через сердечники одного слова (числовая линейка) по координате z, и двумя обмотками считывания и записи, общими для всех сердечников плоскости XY. Каждый сердечник выполняет ф-ции *совпадения схемы* при записи и элемента запоминания. Считывающий ток подается только на сердечники выбранного адреса по числовой обмотке. Для записи и регенерации необходима подача на сердечники записывающего по числовой обмотке и разрядного токов, к-рые суммируются или вычитаются, определяя конечное магнитное состояние сердечника. Поскольку считывающий ток не затрагивает ни одного невыбранного сердечника, помеха при считывании значительно меньше, чем в Ф. п., описанной раньше, и возможно ускоренное перемагничивание сердечников за счет увеличения считывающего тока. Однако такая Ф. п. требует наличия дополнит. токового дешифратора. В качестве дешифрирующих элементов можно применять импульсные тр-ры, ферритовые сердечники, транзисторы и электронные лампы в комбинации с ПП диодами и импульсными тр-рами.

Недостаток Ф. п. со считыванием полным током и записью по совпадению токов в том, что наличие N дешифрирующих элементов ограничивает емкость ЗУ и увеличивает затраты мощности на дешифрацию адреса (иногда они составляют 70—80% от мощности, требуемой на перемагничивание). Преимущества: улучшение отношения сигнал/помеха из-за отсутствия помех от полувыбранных сердечников и увеличения собственно амплитуды считанного сигнала; уменьшение воздействия токов на магнитное состояние невыбранных сердечников и, следовательно, уменьшение требований к сердечникам. Осн. применение такой схемы — ЗУ на емкости неск. тыс. слов и время обращения 1—6 *мксек*.

Ф. п. со считыванием и записью полными токами. Запоминающие сердечники пронизываются тремя обмотками (рис. 3): одной обмоткой считывания и одной обмоткой записи для каждого сердечника и считывающей обмоткой, общей для всех сердечников одного разряда. Запоминающий сердечник выполняет только ф-цию элемента запоминания. Для запоминания информации используется сердечник B, а роль схем совпадения, осуществляющих выборку при считывании, выполняет сердечник

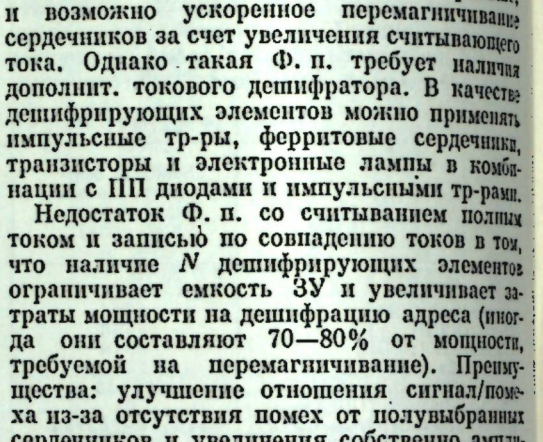


Рис. 3. Ферритовая память со считыванием и записью полными токами.

A, а при записи — сердечник C. При перемагничивании сердечников A и C в одновитковой цепи связи возникает ток одной или др. полярности, перемагничивающий сердечник B. Для таких Ф. п. характерно высокое быстродействие, поскольку токи можно выбирать произвольно большими. Большие допуски на токи расширяют температурный диапазон ЗУ. Применяются в ЗУ емкостью до тысячи слов и с временем обращения до 2 *мксек*.

Недостатки данного типа Ф. п.: на каждый запоминаемый двоичный знак требуются три сердечника; необходимы дополнит. мощности на дешифрацию адреса; сложная технология изготовления ферритовых матриц из-за наличия автономных обмоток между тремя сердечниками. Преимущества: время обращения составляет 0,5—2 *мксек*; широкий температурный диапазон работы ЗУ.

Ф. п. различают по принципу построения адресной части (характер и порядок выборки информации), по принципу организации собственно выборки в *кубе ферритовом* (обеспечение стабильности перемагничивающих токов, обеспечение температурного диапазона работы ЗУ) и по принципу селекции полезных сигналов (уменьшение уровня помех, селекция полезных сигналов от помех) (рис. 4).

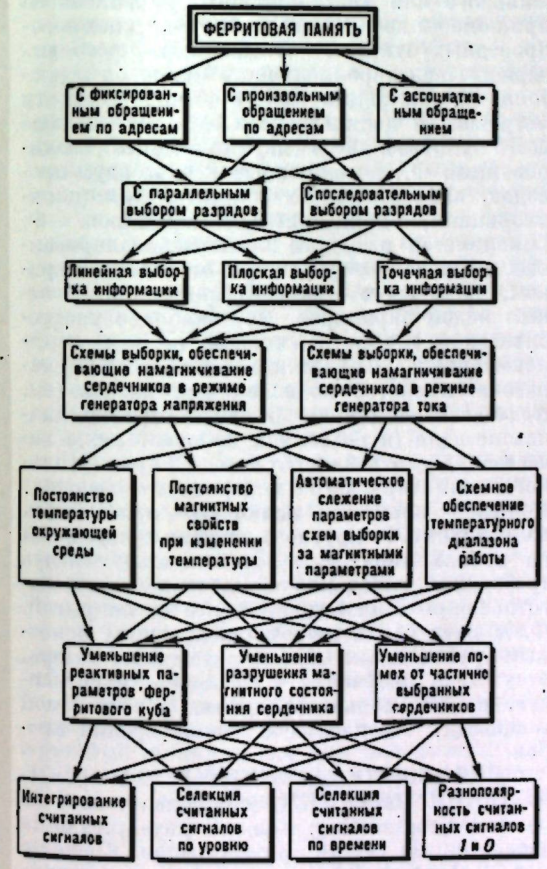


Рис. 4. Классификация структурных схем ферритовой памяти.

Осн. направление развития Ф. п. — повышение емкости и быстродействия при дальнейшей микроминиатюризации, автоматизация изготовления ферритовых кубов и матриц, повышение надежности Ф. п. Осн. пути решения этой задачи: 1) использование режимов перемагничивания ферритовых элементов по частным петлям гистерезиса для повышения быстродействия и осуществления неразрушающего считывания; 2) более широкое использование новых ферритовых элементов (ферритовых плат, биаксов, многоотверстных элементов, микросердечников, слоистых элементов); 3) разработка новых структурных схем Ф. п. с ассоциативным поиском информации, с многокоординатной выборкой информации.

Лит.: Меркулов Н. И., Павликов А. А., Федоров А. С., Запоминающие устройства БЭСМ-2, М., 1962; Ричардс Р. К., Элементы и схемы цифровых вычислительных машин, пер. с англ., М., 1961; Магнитные элементы цифровой техники, под ред. А. Мейергофа, пер. с англ., М.—Л., 1964.

А. В. Гусев.

ФЕРРИТТРАНЗИСТОРНАЯ ЯЧЕЙКА, ферриттриодная ячейка (ferrite transistor cell; cellule à ferrites et à transistors; Ferrittransistorzelle),— схема, сочетающая запоминающие и логич. возможности ферритового сердечника с усилительными и разделит. св-вами транзистора. Запоминание информации происходит в виде остаточного намагничивания ферритового сердечника с прямоугольной петлей гистерезиса, содержащего неск. обмоток: w_1—w_n— кодовые входные обмотки; w_6— выходную (базовую) обмотку. В исходном состоянии транзистор закрыт либо подачей запирающего пост. смещения в базовую цепь, либо подсоединением этой цепи через базовую обмотку к эмиттеру (рис. 1, *а*). В зависимости от соответствующего включения кодовых обмоток при прохождении импульса тока происходит перемагничивание сердечника по полному циклу (до значения $+B_r$ или $-B_r$; рис. 1, *б*). При этом на выходной базовой обмотке наводится эдс, к-рая соответствует дифференциров. входному импульсу. Базовая обмотка включается так, что

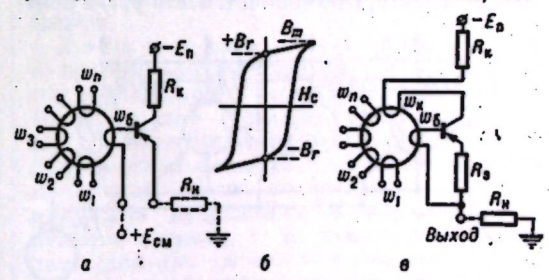


Рис. 1. Ферриттранзисторная ячейка: *а* — принципиальная схема; *б* — вид петли гистерезиса ферритового сердечника; *в* — ячейка с обратными связями.

эта эдс либо открывает транзистор и тогда на выходе Ф. я. появляется импульс тока, либо подзапирает транзистор и тогда на выходе импульс отсутствует. Т. о., по принципу работы Ф. я. принадлежит к схемам синхронного типа. Коллекторное сопротивление $R_К$ служит для ограничения амплитуды выходного импульса тока. Как правило, транзистор в Ф. я. работает по схеме с общим эмиттером в режиме отсечки — насыщения.

Известны схемы Ф. я. с положит. обратной связью (обмотка $w_к$; рис. 1, *в*), ускоряющей процесс перемагничивания сердечника за счет усилит. св-в транзистора (обеспечивает блокинг-процесс), и схемы Ф. я. с отрицат. обратной связью (сопротивление $R_э$), стабилизирующей временны́е и амплитудные параметры выходных импульсов транзистора. Достоинства Ф. я.: небольшое количество деталей, нечувствительность схемы к разбросам параметров деталей, высокая помехоустойчивость за счет низкого входного сопротивления и нелинейности хар-ки феррита, работоспособность в достаточно широком диапазоне изменения температур окружающей среды

($-10° C \leqslant t° \leqslant +60°C$) и питающих напряжений $\Delta E_{пит} \leqslant \pm 20\%$. Рабочая частота Ф. я. (100—200 *кгц*) ограничивается временем перемагничивания феррита. Ф. я. универсальны в использовании. Элементарные логические ф-ции реализуются в схеме ячейки соответствующим соединением кодовых обмоток: ф-ция «или» — путем подсоединения к одной или нескольким кодовым обмоткам нескольких выходов других Ф. я., ф-ция «и» (чаще ее модификация — ф-ция запрета) — одноврем. подачей импульсов на две кодовые обмотки. Ф-ция запоминания информации обеспечивается остаточным потоком намагничивания сердечника. Т. о., возможно на основе одной ячейки создать функционально полную систему элементов, необходимую для построения устройств вычислит. техники и дискретной автоматики. В частности, для указанных целей представляется удобным использовать Ф. я. с сочетанием положит. и отрицат. обратных связей (рис. 1, *в*). Изменяя глубину отрицат. обратной связи, просто получить ячейку узкого импульса, формирователь широкого импульса и др. Используя различные, но имеющие строго огранич. разброс по длительности импульсов Ф. я., легко построить схемы импульсных триггеров, ключей (вентилей), задержек, дешифраторов и т. п. Примерами построения нек-рых узлов вычислит. техники на Ф. я. с применением импульсов различных длительностей могут служить делители частоты, однотактные регистры сдвига, счетчики и т. п. На рис. 2 показана схема однотактного делителя частоты, где $ФТЯ_{1-4}$ — обычные ячейки, $ФТЯ_5$ — ячейка узкого импульса, $ФТЯ_6$ — ячейка широкого импульса. В исходное состояние схема устанавливается подачей широкого импульса с $ФТЯ_6$, при этом в $ФТЯ_1$ происходит запись *1*, а остальные ячейки очищаются. При выдаче импульса с $ФТЯ_5$ срабатывает $ФТЯ_1$ и на входе $ФТЯ_2$ действуют с незначит. сдвигом во времени два импульса — узкий импульс считывания и импульс записи (рис. 2, *б*). После окончания узкого импульса результирующий импульс запишет *1* в $ФТЯ_2$. С выхода $ФТЯ_4$ при работе $ФТЯ_5$ с частотой f_1 будет выдаваться серия импульсов с частотой $f_1/4$. Ф. я. нашли широкое применение в устройствах вычислит. техники и дискретной автоматики, благодаря однородной структуре построения и меньшего количества логич. элементов по сравнению с др. системами элементов.

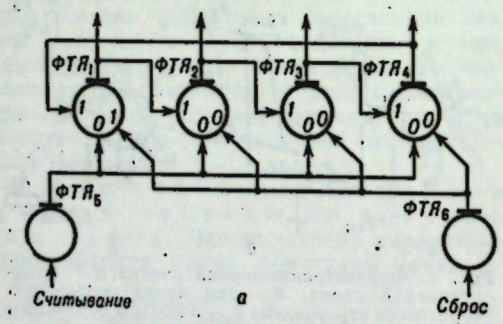


Рис. 2. Делитель частоты: *а* — функциональная схема; *б* — временная диаграмма.

В. М. Сташевский.

ФИДЕР (feeder; feeder, alimentateur; Speiseleitung) — 1) В э н е р г е т и к е — кабельная или воздушная питающая линия, связывающая электростанцию с системой распределения энергии; рассчитывается для напряжений до 10 *кв*.

2) В р а д и о т е х н и к е — линия для передачи энергии ВЧ поля. Чаще всего Ф. связывает передатчик с антенной и антенну с приемником. Различают 1-, 2-, 4- и многопроводные, симметричные и несимметричные, открытые и экранированные Ф. При передаче по однопроводному Ф. роль 2-го провода выполняет земля. Многопроводные Ф. изолированы от земли, симметрия таких Ф. определяется по отношению к земле. Открытый Ф. выполняется из металлич. провода (чаще всего медного, реже — алюминиевого), одножильного или многожильного, укрепленного при помощи изоляторов на опорах; для многопроводных открытых Ф. должны строго выдерживаться параллельность проводов и постоянство дистанции между ними; для волн метрового и дециметрового диапазонов чаще всего употребляется двухпроводный изолированный Ф., выполненный в виде двух проводов, запрессованных в диэлектрик (полихлорвинил, полиэтилен). Экранир. Ф. выполняется из одного или неск. изолированных проводов, окруженных металлич. экраном, чаще всего — медной плетенкой. Частным видом экраниров. Ф., наиболее употребительного в коротковолновой части дециметрового диапазона волн и в сантиметровом диапазоне, является коаксиальный кабель (см. *Коаксиальная линия*). В сантиметровом диапазоне волн (и на волнах короче 1 *см*) в качестве Ф. употребляется *волновод* прямоугольного или круглого поперечного сечения. Большое значение начинают приобретать волноводные Ф. круглого сечения с передачей на волнах типа H_{0n}, позволяющие снизить требования, предъявляемые к качеству изготовления волноводной трубы и покрытий. Ф. должен удовлетворять следующим основным требованиям: минимум вносимых потерь, отсутствие излучения в свободное пространство и максимальная величина передаваемой мощности, безопасной с точки зрения пробоя.

А. П. Шпаков.

ФИЗИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ (components used in computer engineering; eléments physiques de la technique de calcul; physikalische Elemente der Rechentechnik) — конструктивно оформленные технич. средства, использующие определенные физ. явления и законы для построения схем и устройств вычислит. техники. В процессе развития вычислит. техники можно выделить ряд этапов, каждый из к-рых характеризуется применением соответствующих физич. элементов (ФЭ). Сначала использовались достижения смежных областей техники. Позднее появились элементы, специально разработанные в связи с непосредств. потребностями вычислит. техники. Так, в механич. вычислит. приборах (предложенных Б. Паскалем, Г. В. Лейбницем, П. Л. Чебышевым в 17—19 вв.), выполняющих арифметич. операции с числами, первоначально использовались

обычные шестерни, рычаги, шарниры, а затем появилось т. н. «колесо Однера» (1874), специально сконструированное для вычислит. машин.

В 1940-х гг. были созданы вычислит. машины, имевшие структуру программно-управляемой машины, но построенной на электромеханич. компонентах, заимствованных из др. отраслей техники. Напр., в амер. машинах Марк-I (1944) и Марк-II (1947) в качестве осн. ФЭ служили электромеханич. реле, счетчики, контактные устройства, перфокарты и др. оборудование, являвшееся стандартными частями табуляторов амер. фирмы ИБМ. В первой электронной вычислит. машине ЭНИАК (1946, США) в качестве осн. ФЭ использовались электронные лампы, конденсаторы, сопротивления и др. радиодетали, к-рые имели до этого применение в радиотехнике и радиолокации, причем в машине их было предусмотрено огромное по тем временам количество (ок. 18000 ламп, 1500 реле и т. д.). Запоминающим ФЭ служила схема триггера с двумя устойчивыми состояниями, запоминавшая одну двоичную цифру. С развитием техники радиосвязи, телевидения, звукозаписи появились новые Ф. э. в. т.: различного рода накопит. ЭЛТ (селектроны, потенциалоскопы с барьерной сеткой), новые электровакуумные лампы, УЗ линии задержки, новые магнитные накопители (магнитные ленты, барабаны, диски, ферритовые сердечники и пластины) и ряд ФЭ, использующих криогенную технику и явления сверхпроводимости материалов, оптические и молекулярные явления и эффекты, физику твердого тела, приборы СВЧ диапазона. Наряду с этим происходит совершенствование конструктивных и технологич. путей произ-ва ФЭ, приводящее к переходу на печатные схемы, микроминиатюризацию, молектронику и т. д.

Для хар-ки Ф. э. в. т. важны две принципиальные стороны: 1) физич. сущность используемого явления или закона, к-рая определяет в основном технич. параметры элемента (быстродействие, потребляемую энергию, способ управления и т. д.), и 2) технологич. и конструктивная сторона, от к-рой зависят габариты ФЭ, возможности его массового произ-ва, что, в свою очередь, влияет на технич. хар-ки вычислит. машин и устройств.

В табл. 1 даны хар-ки нек-рых наиболее распространенных Ф. э. в. т.; в качестве допущения принято, что для выполнения одной операции необходимо произвести последовательно во времени 10 переключений ФЭ.

Таблица 1

Используемый тип физич. элемента	Время переключения (*исек*)	Допустимый линейный размер ЭВМ (*см*)	Производительность ЭВМ (операций в сек.)
Ферритовые элементы и транзисторы	100	$3 \cdot 10^3$	10^6
Магнитные пленки. .	10	$3 \cdot 10^3$	10^7
Криогенные элементы	10	$3 \cdot 10^2$	10^7
Параметрич. элементы	10	$3 \cdot 10^2$	10^7
Туннельные диоды. .	1	$3 \cdot 10^1$	10^8
»	0,1	3	10^9

Осн. назначение Ф. э. в. т. — представление кодов информации и осуществление преобразования информации. Это происходит путем изменения нек-рых параметров ФЭ. По назначению Ф. э. в. т. можно разделить на неск. групп: логические, или переключающие элементы; запоминающие элементы и вспомогат. элементы. К Ф. э. в. т. предъявляется ряд требований, к-рые являются общими для всех групп: 1) гибкость элемента, позволяющая применять его в различных узлах машины для выполнения ряда логич. ф-ций. Это качество определяется той логич. ф-цией, к-рую реализует данный элемент, количеством его входов и выходов, а также энергетич. хар-ками, определяющими его способность работать с реальной нагрузкой. С этой точки зрения представляют интерес логич. элементы Шеффера (см. *Алгебра логики*), из к-рых могут строиться все осн. цепи машин; 2) быстродействие элемента, определяемое временем реакции на входной сигнал; 3) надежность работы; 4) возможность осуществления приемлемых конструктивных решений с точки зрения габаритов, объема необходимого вспомогат. оборудования (систем охлаждения и вентиляции, энергопитания), требований к помещению и т. д.; 5) технологичность в произ-ве, возможность автоматизации изготовления ФЭ, отбраковки и наладки в условиях массового произ-ва при умеренных экономич. затратах. К каждой из перечисл. групп Ф. э. в. т. предъявляются дополнит. требования, проистекающие из особенностей схем, в к-рых они работают.

Л о г и ч е с к и е э л е м е н т ы предназначены для выполнения логич. операций над кодами, представленными сигналами. Существуют два наиболее распространенных способа представления двоичных цифр: в виде уровней напряжения, т. е. потенц. сигналами (статич. способ кодирования), и в виде импульсов напряжения в соответствующие моменты времени, т. е. импульсными сигналами (динамич. способ кодирования). В соответствии со способом представления информации и выбирается осн. тип Ф. э. в. т. (потенциальный, импульсный или импульсно-потенциальный). Т. к. логич. элементы используются в схемах ЭВМ гл. обр. при работе друг на друга, то от них требуется малая потеря мощности и малые искажения при прохождении сигналов, а также наличие четко выраженного порога срабатывания для повышения помехоустойчивости. Эта группа Ф. э. в. т. строится с использованием почти всех возможных физич. принципов как на пассивных, так и на активных элементах. Существуют ламповые, ПП, магнитные, ферриттранзисторные, ферритдиодные и др. схемы логич. элементов.

В з а п о м и н а ю щ и х э л е м е н т а х информация сохраняется в виде устойчивых значений нек-рых параметров, принятых для фиксации соответствующих кодов. Существует неск. типов схем, различающихся как по способу кодирования запоминаемой информации (статич. и динамич. триггеры), так и по типу используемых технич. средств (ламповые, ПП, магнитные, криогенные, на туннельных диодах и т. д.). Широкому распространению этих схем в основном способствовали два фактора: весьма высокое макс. быстродействие (доли *мксек*) и активный характер

хранения информации (чаще всего в виде значения напряжения), позволяющий производить простое согласование действия данного элемента с др. логич. элементами ЭВМ. Помимо схем спец. конструкции, для создания запоминающих элементов широко используются естеств. состояния нек-рых физич. материалов (напр., ферромагнитные элементы). Нек-рые данные, характеризующие св-ва ферритовых сердечников, приведены в табл. 2.

давать пост. внешнее возбуждение. Напр., *диоды туннельные* и нек-рые др. двухполюсные приборы на твердом теле, имеющие нелинейное отрицат. сопротивление, могут приводиться источником пост. тока в одно из двух состояний равновесия. Благодаря простоте конструкции, малой выходной емкости и способности работать на высоких частотах, туннельные диоды становятся одним из самых перспективных запоминающих элементов.

Таблица 2

Параметры физич. элемента	Запоминающий физич. элемент			Логич. физич. элемент		Иностр. (типовые) марки				
	ВТ-1	ВТ-6	ВТ-7	ВТ-2	ВТ-5	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5
Внешний диаметр (*мм*)	2,0	1,4	1,4	1,4	3,0	1,25	1,25	2,0	2,0	1,0
Внутр. диаметр (*мм*)	1,4	1,0	1,0	1,0	2,0	0,75	0,75	1,25	1,25	0,6
Высота (*мм*)	0,9	0,6	0,6	0,6	1,3	0,37	0,37	0,6	0,6	0,3
Время переключения (*мксек*)	1,0	0,2	0,5	1,0	2,5	0,15	1,3	1,2	2,7	0,35
Ток управления (*ма*)	600	1100	600	250	150	1100	350	740	360	800

ФЭ этого класса имеют весьма разнообразные конструктивные решения, обеспечивающие получение новых качеств. Напр., сердечник с двумя взаимно-перпендикулярными непересекающимися отверстиями (типа биакс) позволяет производить неразрушающее считывание информации; многоотверстные (многоапертурные) сердечники (*трансфлюксоры*) с управлением разветвл. магнитным потоком в перемычках обладают возможностями логич. элементов; ферритовые пластины позволяют сразу в одном технологич. цикле изготовить элемент для хранения группы кодов; *магнитные тонкие пленки* обладают исключительно высоким быстродействием и т. п. Т. о., сочетание определ. физич. св-в материала с соответствующими конструктивными решениями дает возможность образовывать новые типы Ф.э.в.т.

Аналогичные св-ва присущи ферроэлектрич. материалам, у к-рых имеется гистерезисная хар-ка электрич. поляризации, и сверхпроводящим материалам, использующим наведенный в сверхпроводнике ток (см. *Сверхпроводимость*). Ф. э. в. т., созданные на основе этих явлений, достаточно просто управляются и обладают высоким быстродействием (*мксек*).

Существуют Ф. э. в. т., в к-рых для целей запоминания (т. е. сохранения значения одного из управляемых параметров) необходимо создавать пост. внешнее возбуждение. Напр., *диоды туннельные* и нек-рые др. двухполюсные приборы на твердом теле, имеющие нелинейное отрицат. сопротивление, могут приводиться источником пост. тока в одно из двух состояний равновесия. Благодаря простоте конструкции, малой выходной емкости и способности работать на высоких частотах, туннельные диоды становятся одним из самых перспективных запоминающих элементов.

Аналогично ведет себя электрически изолированный электрод при облучении его электронным лучом. Подвергнутый пост. бомбардировке, он может иметь один из двух стабильных потенциалов при выполнении нек-рых условий, что используется при создании накопит. ЭЛТ типа *потенциалоскопа* с барьерной сеткой. В рассмотренных Ф. э. в. т. устойчивые состояния — статические, создаваемые за счет источников пост. энергии. Существуют динамически устойчивые элементы, состояние к-рых поддерживается за счет источников перем. мощности. Напр., для параметрич. элементов (см. *Параметрон*) существует режим устойчивых колебаний на частоте, равной половине частоты источника возбуждений в одной из двух противоположных фаз (фазовые параметроны) или на одной из стабильных частот (частотные параметроны).

Принципиально возможно использовать для запоминания элементы, не имеющие устойчивых состояний, напр. конденсаторы, в к-рых за счет искусств. периодич. подзарядки поддерживается величина заряда, что нашло применение в диодно-емкостной памяти. В табл. 3,4 [2] приведены сведения, иллюстрирующие осн. показатели ряда запоминающих элементов.

Табл. 3. Параметры ранних запоминающих элементов

Запоминающий физич. элемент	Время выборки	Частота обращения (*кгц*)	Макс. емкость (двоичных единиц)	Плотность запоминания (двоичных единиц в 1 *см*³)	Сигнал считывания (*в*)	Отношение сигнал/помеха (*1/0*)
Электромеханич. реле	>2 *мсек*	<0,1	10^2	<0,05	50	$>10^3$
Лампа тлеющего разряда	0,1—1 *мсек*	0,1—50	10^2	<0,2	60	$>10^2$
Диодно-конденсаторная память	5—10 *мксек*	<20	$<10^3$	<0,3	2	$>10^2$
Накопители на линиях задержки	30 *мксек* —30 *мсек*	<5	$<10^3$ на канал	5	0,1	10
Электростатич. трубка	20—50 *мксек*	20	10^3—10^4 на трубку	<2	1—10 *мв*	3
Триггер	0,1—1 *мксек*	<4000	$<10^3$	<0,05	>5	>10
Магнитная лента	2 *мсек* —2 *мин*	>80	10^8 на ленту	10^4—10^6	0,2—20 *мв*	4—20
Магнитный диск	0,5 *сек*	100	<$8\cdot10^7$	10^3	0,06	—
Магнитный барабан	2—40 *мсек*	5—150	<$1{,}5\cdot10^7$	<50	1—10 *мв*	10
Ферритовый сердечник	>2 *мксек*	200	<$2\cdot10^6$	<130	0,1	5

Табл. 4. Параметры современных запоминающих элементов

Запоминающий физич. элемент	Время переключения (*мксек*)	Время обращения (*мксек*)	Макс. емкость: возможная	Макс. емкость: существующая	Плотность запоминания (двоичных знаков в 1 *см*³)	Сигнал считывания (*в*)	Отношение сигнал/помеха (*1/0*)	Температурный диапазон (°С)	Ток (мощность) возбуждения
Флюксор	0,1—0,5	0,5—1	$<10^3$	$/320$	30	0,1—1	>5	10—80 —50±180	2—5 *а*
Ферритовая плата	1,5	>6	10^7	$/256$	40	30 *ма*	4	10—50	0,2—0,3 *а*
Транстор	0,2—1,0 (0,6 сред.)	1—2	10^6	$/1{,}3\cdot10^4$	80—100	3—10 *мв*	8	0—100	0,3—2,3 *а*
Ферроэлектрич. память	1—100	>10	10^3	кристалл	500—10^3	0,2—0,4	>3	20—70	5—10 *ма*
Тонкая магнитномягкая пленка	0,01—0,1	0,2—10	<10^7	<10^4	10—50	5 *мв*	4	5—60	0,3 *а*
Параметрон	3—10	>10	<$3\cdot10^4$		<100	0,1	различаются фазой П:0	10—50	0,5 *а*
Фазоуправляемый генератор	5 *мсек*	>0,03	—	—	>0,1	1—10	то же	—	100 *мет*
Магнитный стержень	4—80 *мсек*	0,2—1	—	/480	60—100	0,1—0,5	5—10	—100—+200	400 *ма*
Сердечник типа биакс	20 *мсек*	0,5—4	$2\cdot10^4$	$/256$	250	0,04	10	—20—+125	200 *ма*
Пленочный криотрон	1—10 *мсек*	0,1—0,5	10^7	$2\cdot10^3$	10^2—10^4	5—15 *мв*	ΛΛ	—269	50—300 *ма*
Туннельный диод	0,5—50 *мсек*	0,01—0,1	—	—	>1	0,5—1	15	—5°—+150	1—10 *ма*
Человеч. память	~1 *мсек*	0,1—1 *сек*	~10^{13}	/16	~10^{13}	10—100 *мкв*	~5	37	<10 *мка*

Вспомогательные элементы предназначены для обеспечения в осн. трех ф-ций: передачи сигналов по цепям машины; согласования работы логич. и запоминающих элементов, имеющих зачастую разнородную физич. основу; усиления и формирования сигналов.

При технич. реализации для выполнения указанных задач применяются ФЭ, в к-рых эти ф-ции иногда разделяются, но могут и совмещаться. Так, для организации взаимосвязи между элементами в процессе передачи электрич. импульсов используются гл. обр. объемные проводники или печатный монтаж (см. *Печатная схема*), разделит. конденсаторы и согласующие тр-ры и др. радиодетали. Для согласования действия логич. и запоминающих элементов применяются вспомогат. элементы в зависимости от физич. особенностей их работы. Напр., вспомогат. элементом при согласовании процессов записи и чтения с *магнитной ленты* являются *магнитная головка* и соответствующие усилит. каскады, для считывания информации с *перфорационных лент* служат *фотодиоды* или *фотосопротивления* в совокупности с источником света и усилителями; для согласования входных и выходных параметров логич. элементов на электронных лампах — *катодные повторители*. Потребность в усилении и формировании сигналов возникает из-за неизбежных потерь и искажений сигналов при прохождении по реальным цепям и объясняется в значит. степени несовершенством всех типов ФЭ вычислит. машин.

Осн. тенденция развития Ф.э.в.т. состоит в совмещении ф-ций запоминающих и логич. элементов и применении однородных по физич. природе элементов, что позволит в будущем свести к минимуму вспомогат. элементы.

Лит.: 1) Евреинов Э. В., Косарев Ю. Г., О возможности построения вычислительных систем высокой производительности, 2 изд., Новосибирск, 1963; 2) Schaefer E., «Elektron. Rechenanlagen», 1960, V. 2, № 4, S. 183—93. *В. П. Исаев.*

ФИЛЬТР ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ, верхних частот [high pass filter; filtre passe-haut (à haute fréquence); Hochfrequenzfilter] — фильтр, у к-рого полоса пропускания лежит выше нек-рой частоты f_c. Ф.в.ч. может быть получен частотным преобразованием *фильтра низкой частоты* (прототипа) путем замены индуктивности емкостью, а емкости — индуктивностью (рис. 1), причем произведение взаимозаменяемых элементов LC остается неизменным. В Ф.в.ч. типа k элементы последоват. и паралл. ветвей взаимнообратны, частота среза $f_c=\frac{1}{4\pi\sqrt{LC}}$. Ф.в.ч. типа k имеют полюс затухания в нуле, а производные фильтры типа m — на конечной частоте (рис. 2). Частота бесконечного затухания (частота полюса) определяется ф-лой $f_\infty=f_c\sqrt{1-m^2}$. Частотные и фазовые хар-ки Ф.в.ч. типа m (рис. 3) определяются ф-лами: затухание в полосе задерживания

$$\theta_c=\ln\left|\frac{1+mt}{1-mt}\right|,$$

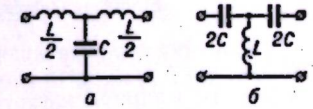


Рис. 1. Преобразование фильтра низкой частоты в фильтр высокой частоты: *а* — прототип; *б* — фильтр высокой частоты.

сдвиг фазы в полосе пропускания

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha_c}{2}=m\eta/\sqrt{1-\eta^2},$$

характеристич. сопротивление Т-звена

$$Z_{ст}=\sqrt{Z_1Z_2}\,\frac{\sqrt{1-\eta^2}}{1-(1-m^2)\,\eta^2},$$

П-звена

$$Z_{сп}=\sqrt{Z_1Z_2}\,\frac{1-(1-m^2)\,\eta^2}{\sqrt{1-\eta^2}},$$

где $t=\eta/\sqrt{\eta^2-1}$, а $\eta=f_c/f$. При стремлении частоты бесконечного затухания к нулю

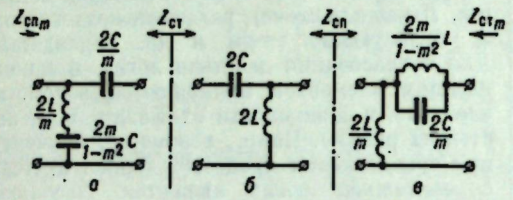


Рис. 2. Полузвенья фильтра высокой частоты: *а* — последовательно-производного типа *m*; *б* — типа k; *в* — параллельно-производного типа *m*.

хар-ки деформируются, превращаясь в пределе в хар-ки Ф.в.ч. типа *k*. Частотное пре-

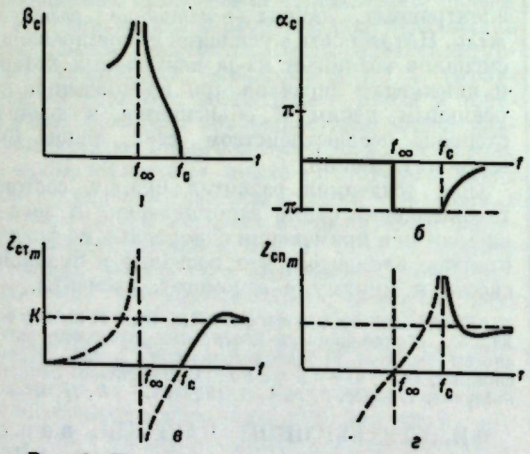


Рис. 3. Частотные характеристики фильтра высокой частоты типа *m*: *а* — затухания; *б* — фазового сдвига; *в* — характеристич. сопротивления Т-звена; *г* — характеристич. сопротивления П-звена. Пунктир — мнимые значения, сплошная линия — действительные.

образование фильтра низкой частоты в Ф.в.ч. позволяет с требуемой степенью точности реализовать заданную частотную хар-ку, используя миним. число элементов. Заданная частотная хар-ка Ф. в. ч. подстановкой $\omega=1/\nu$ преобразуется в хар-ку эквивалентного фильтра низкой частоты. Последняя выражается физически осуществимой ф-цией с помощью максимально гладкого, равномерно-колебат. в полосе пропускания или равномерно-колебат. как в полосе пропускания, так и в полосе задерживания приближения. По виду ф-ции определяют значения элементов фильтра-прототипа. Далее, обратным частотным преобразованием получают искомые значения элементов Ф.в.ч. Величина затухания в полосе задерживания и ширина переходной зоны между полосами пропускания и задерживания определяются типом и степенью аппроксимирующей ф-ции. В связи со сложностью вычислений удобнее пользоваться для расчета таблицами данных фильтров-прототипов (нормализованных фильтров нижних частот), опубликованными в справочниках.

Лит.: Моле Дж. Х., Расчет электрических фильтров для аппаратуры связи, пер. с англ., М.—Л., 1963; Альбац М. Е., Справочник по расчету фильтров и линий задержки, М.—Л., 1963; Собенин Я. А., Расчет полиномиальных фильтров, М., 1963.

М. Е. Альбац.

ФИЛЬТР ЗАГРАЖДАЮЩИЙ [band-elimination (bandrejection) filter; filtre coupe-bande, filtre de blocage; Sperrfilter, Sperrkreis] — фильтр, у к-рого полоса задерживания лежит между частотами среза f_1 и f_2. Ф. з. может быть образован частотным преобразованием фильтра НЧ (прототипа), при к-ром индуктивность заменяется параллельным контуром *LC*, а емкость — последовательным контуром *LC* (рис. 1). При этом частота среза

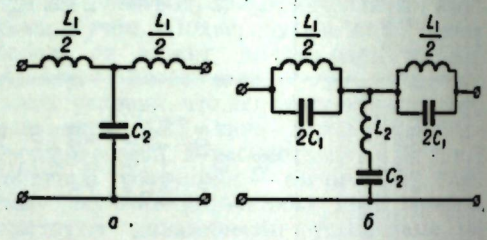


Рис. 1. Образование заграждающего фильтра: *а* — фильтр низкой частоты (прототип); *б* — заграждающий фильтр: $L_1C_1=L_2C_2=\frac{1}{\omega_0^2}$.

прототипа связана с частотами среза Ф. з. соотношением $f_c=1/(f_2-f_1)$. В Ф. з. типа *k* резонансные частоты контуров одинаковы и равны f_0 — центральной частоте полосы задерживания. Ф. з. типов *k* и *m*, полузвенья к-рых показаны на рис. 2, имеют симметричную логарифмич. частотную хар-ку в полосе задерживания, т. е. $f_0=\sqrt{f_1f_2}$. Полюс затухания Ф. з. типа *k* — двухкратный и лежит на частоте f_0. В фильтрах типа *m* по мере уменьшения *m* полюса приближаются к частотам среза, что следует из ф-л

$$f_{\infty 1}\cong f_0-(\Delta f/2)\sqrt{1-m^2};$$

$$f_{\infty 2}\cong f_0+(\Delta f/2)\sqrt{1-m^2},$$

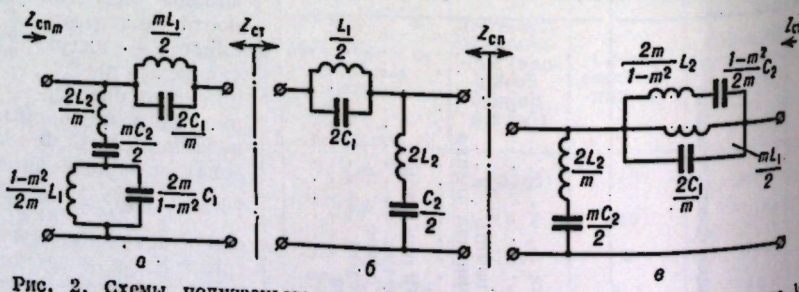


Рис. 2. Схемы полузвеньев: *а* — последовательно-производного; *б* — типа k; *в* — параллельно-производного типа *m*.

где $\Delta f=f_1-f_2$ — ширина полосы задерживания.

Частотные и фазовые хар-ки Ф.з. типа *m* показаны на рис. 3 и определяются ф-лами:

затухание в полосе задерживания

$$\beta_c=\ln\left|\frac{1+mt}{1-mt}\right|;$$

сдвиг фазы в полосе пропускания

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha_c}{2}=m/\sqrt{1-m^2};$$

характеристич. сопротивление Т-звена

$$Z_{ст}=\sqrt{Z_1Z_2}\,\frac{\eta\sqrt{\eta^2-1}}{\eta^2-(1-m^2)},$$

П-звена

$$Z_{сп}=\sqrt{Z_1Z_2}\,\frac{\eta^2-(1-m^2)}{\eta\sqrt{\eta^2-1}},$$

где $t=1/\sqrt{1-\eta^2}$, а $\eta=\Delta f/f_0(f/f_0-f_0/f)$. При $m=1$ хар-ки деформируются, превра-

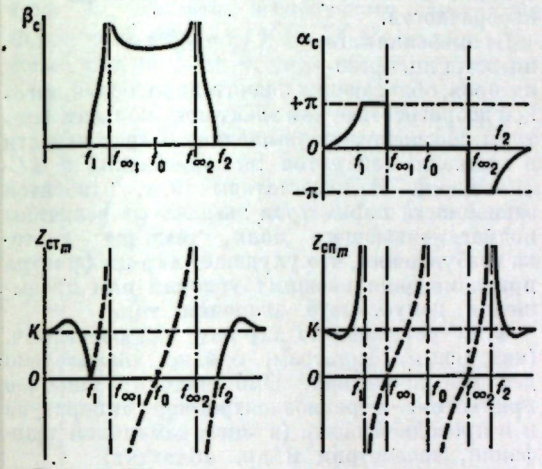


Рис. 3. Частотные зависимости заграждающего фильтра типа *m*: затухания; фазового сдвига; характеристич. сопротивления Т-звена; характеристич. сопротивления П-звена. Пунктир — мнимые значения, сплошная линия — действительные.

щаясь в пределе в хар-ки Ф. з. типа *k*. Синтез Ф.з. путем частотного преобразования фильтра НЧ (см. *Фильтр электрический*) позволяет с требуемой степенью точности реализовать заданную частотную хар-ку, используя миним. число элементов. Тип и степень аппроксимирующей ф-ции определяют точность аппроксимации. В связи со сложностью вычислений при расчете удобно пользоваться опубликованными таблицами данных прототипов (нормализованных фильтров НЧ). В литературе иногда вместо термина «Ф.з.» применяется термин «фильтр режекторный».

Лит.: Моле Дж. Х., Расчет электрических фильтров для аппаратуры связи, пер. с англ., М.—Л., 1963; Альбац М. Е., Справочник по расчету фильтров и линий задержки, М.—Л., 1963; Собенин Я. А., Расчет полиномиальных фильтров, М., 1963.

М. Е. Альбац.

ФИЛЬТР КВАРЦЕВЫЙ (crystal filter; filtre à quartz; Quarzfilter) — электрич. фильтр, содержащий в своей схеме кварцевый резонатор. Увеличение избирательности *полосовых фильтров* ограничено низкой добротностью применяемых в них катушек индуктивности. Кварцевый резонатор в схеме Ф.к. эквивалентен контуру последоват. резонанса, шунтированного емкостью, имеющему малые потери на рассеяние по сравнению с контурами, составленными из обычных катушек индуктивностей и конденсаторов. Это обеспечивает высокую крутизну хар-ки вносимого затухания в зависимости от частоты, превосходящую крутизну хар-ки др. электрич. фильтров в сотни и даже тысячи раз. Различают Ф. к.: нижних и верхних частот, полосовые пропускающие и задерживающие. Ф. к. применяются во всем диапазоне звуковых и радиотехнич. частот до десятков *Мгц*. Полоса пропускания Ф.к. может быть доведена до десятых долей % от его резонансной частоты. Ф.к. обладают хорошей стабильностью, малой температурной зависимостью хар-ки, малыми размерами. Ф.к. применяются в спец. измерит., радиоприемной и многоканальной аппаратуре телефонной и телеграфной дальней связи.

Теория определяет отношения между элементами схемы Ф.к. в зависимости от эквивалентных параметров кварцевых резонаторов. Эквивалентная схема кварцевого резонатора (рис. 1) состоит из последоват. колебат. контура *LCR*, зашунтированного статич. емкостью C_0, соответствующей емкости электродов держателя и емкости монтажа. Сопротивление *R* эквивалентно сопротивлению потерь и в виду его малой величины (сотни *ом*) им обычно пренебрегают. Параметры кварцевого резонатора: добротность выше 500000; индуктивность *L* от 0,1 *гн* до 100 *гн*; емкость *C* от 0,01 *пф* до неск. десятков *пф*. Для частот выше 1 *Мгц* Ф.к. обычно выполняется по цепочечной схеме (рис. 2), в к-рой получение симметричной хар-ки затухания обеспечивают кварцевые пластинки с различными углами среза. Условие пропускания Ф. к., построенного по цепочечной схеме, определяется неравенством $-1<\frac{Z_1}{Z_2}<0$, где Z_1 — реактивное сопротивление последоват. цепи Ф.к., Z_2 — реактивное сопротивление параллельной цепи Ф. к. В диапазоне частот до 1 *Мгц* Ф. к., как правило, выполняется по мостовой схеме с двумя или четырьмя кварцевыми резонаторами (рис. 3), для к-рых используются кварцевые пластинки одинаковых срезов. Макс. ширина полосы пропускания двухрезонаторного Ф.к. 0,4%, а четырехрезонаторного — 0,8% от резонансной частоты. Условие пропускания Ф.к., построенного по мостовой схеме, определяется неравенством $-\infty<\frac{Z_1}{Z_2}<0$. Для получения более простого Ф.к. применяют дифферен-

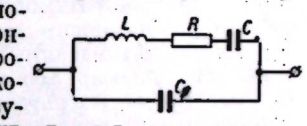


Рис. 1. Эквивалентная схема кварцевого фильтра.

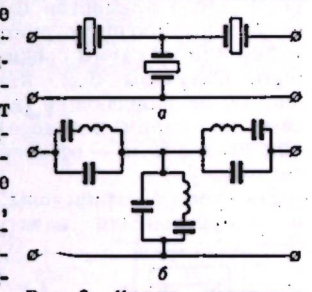


Рис. 2. Схемы цепочечного кварцевого фильтра: *а* — принципиальная; *б* — эквивалентная.

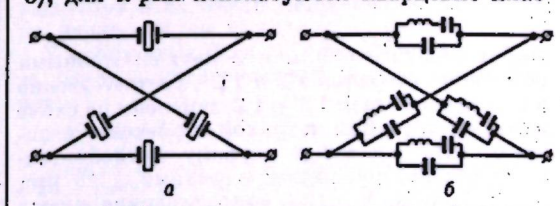


Рис. 3. Схемы мостового кварцевого фильтра: *а* — принципиальная; *б* — эквивалентная.

цильно-мостовую схему (рис. 4), в к-рой количество резонаторов и конденсаторов уменьшается вдвое при той же полосе пропускания. Для сужения полосы пропускания Ф. к. параллельно с резонаторами включаются емкости. Для расширения полосы пропускания последовательно с резонаторами включаются индуктивности.

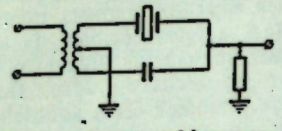


Рис. 4. Схема дифференциально-мостового кварцевого фильтра.

Лит.: Плонский А. Ф., Пьезокварц в технике связи, М.—Л., 1951; Босый Н. Д., Электрические фильтры, 4 изд., Киев, 1960; его же, Каналы связи, Киев, 1963. *А. С. Графенбергер.*

ФИЛЬТР МАГНИТОСТРИКЦИОННЫЙ (magnetostrictive filter; filtre à magnétostriction; Magnetostriktionsfilter) — электрич. фильтр резонаторного типа, в к-ром резонаторами служат магнитострикц. колебат. системы (см. *Фильтр электрический*). В схемы Ф. м., кроме магнитострикц. резонаторов, обычно входят конденсаторы и катушки индуктивности, обеспечивающие получение требуемых частотных хар-к (включение индуктивностей приводит к уменьшению, а емкостей — к увеличению ширины полосы пропускания Ф.м.). Простейший Ф.м.— двухобмоточный магнитострикц. резонатор.

Обычно в Ф.м. резонаторы соединяются в звено мостикового типа, в к-ром все элементы встречаются дважды; поэтому можно уменьшить число элементов Ф.м., применяя двухобмоточные магнитострикц. резонаторы. В зависимости от схемы соединения звеньев могут быть получены Ф.м. нижних или верхних частот, заграждающие (в т. ч. с неск. полосами запирания) и полосовые. Диапазон рабочих частот Ф.м.— от неск. десятков до неск. сотен *кгц*.

На рис. 1 приведены принципиальная *а* и эквивалентная электрическая *б* схемы

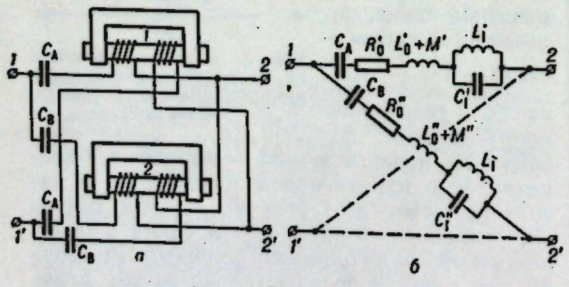


Рис. 1.

широкополосного Ф.м. с 2 двухобмоточными резонаторами (ветви 1′2 и 1′2′, соответственно идентичные ветвям 1 2′ и 1 2, заменены на схеме пунктиром; одним штрихом помечены величины, относящиеся к первому двухобмоточному резонатору, двумя штрихами — ко второму). Здесь R_0, L_0— сопротивление электромагнитных потерь и индуктивность обмотки заторможенного резонатора при отсутствии магнитострикционных колебаний; L_1, C_1— динамические параметры резонатора; M — взаимная индукция между обмотками. Включение конденсаторов C_A и C_B расширяет полосу пропускания этого Ф.м. Хар-ка затухания приведена на рис. 2.

Возможны комбинации магнитострикц. резонаторов с пьезоэлектрическими, а также цепочечные соединения неск. звеньев в Ф.м. С увеличением числа магнитострикц. резонаторов в схеме Ф.м. избирательность последнего улучшается; однако при этом существенно возрастают требования к стабильности параметров магнитострикц. резонаторов, т. к. возрастает опасность рассогласования (причем тем в большей степени, чем выше рабочая частота Ф. м.). Кроме того, увеличивается затухание в полосе прозрачности.

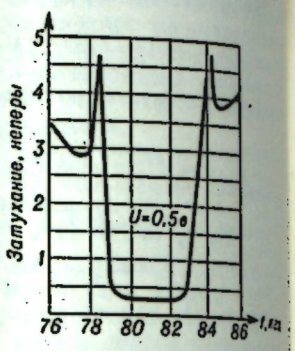


Рис. 2.

Применение магнитострикц. резонаторов, обладающих значительно более высокой добротностью, чем электрич. колебат. контуры, обеспечивает повышение избирательности и снижение габаритов по сравнению с *LC*-фильтрами. К недостаткам Ф.м. относится зависимость параметров звеньев от величины подмагничивающего поля, темп-ры и тока возбуждения, что ухудшает хар-ки фильтра при изменении внешних условий или превышении допустимого значения тока.

Ф.м. уступают по хар-кам пьезоэлектрич. (кварцевым) фильтрам, однако значительно дешевле последних. Они находят широкое применение в радиоэлектронной аппаратуре и в проводной связи (в многоканальной телефонии, телеметрии и др. областях).

Лит.: Босый Н. Д., Электрические фильтры, 4 изд., Киев, 1960, гл. 8, § 4; Mason W. P., Electromechanical transducers and wave filtres, N. Y., 1948; Diethelm C. W., «Techn. Mitt. PTT», 1951, № 8.

ФИЛЬТР НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ, нижних частот [low pass filter; filtre passebas; Niederfrequenzfilter] — фильтр, у к-рого полоса пропускания лежит в пределах от нулевой до нек-рой частоты среза f_c. Пропускание тока нулевой частоты определяет структуру Ф. н. ч. (рис. 1), т. к. в его последоват. плече должен быть включен элемент с малым сопротивлением для пост. тока (индуктивность),

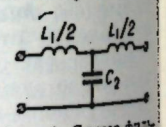


Рис. 1. Схема фильтра низкой частоты.

а в параллельном — с малой проводимостью для пост. тока (емкость). Для Ф. н. ч. типа k произведение полных сопротивлений плеч не зависит от частоты и равно пост. величине; действительно:

$$Z_1 = j\omega L_1;\quad Z_2 = 1/j\omega C_2,\quad Z_1 Z_2 = L_1/C_2 = k^2.$$

Частота среза Ф. н. ч. типа k находится из уравнению пост. передачи $th\frac{g}{2} = th\frac{\beta+j\alpha}{2} = \sqrt{Z_1/4Z_2}/\sqrt{1+Z_1/4Z_2}$ (см. *Фильтр электрический*). При условии, что в полосе пропускания затухание $\beta = 0$, на частоте среза имеет место равенство $Z_1/4Z_2(\omega=\omega_c) = -1$, откуда $f_c = 1/\pi\sqrt{L_1C_2}$. Ф. н. ч. типа k имеют полюс затухания в бесконечности и, соответственно, полный рост затухания с увеличением частоты в полосе задерживания; характеристическое сопротивление Ф. н. ч. типа k в полосе пропускания сильно изменяется в зависимости от частоты. Производным Ф. н. ч. типа

m (рис. 2) эти недостатки присущи в меньшей степени, т. к. подобные фильтры обладают полюсом затухания на конечной частоте.

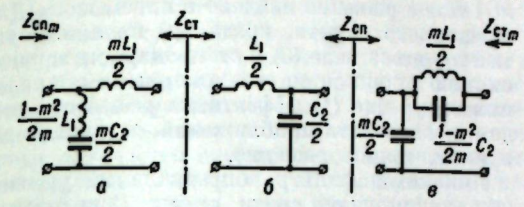


Рис. 2. Полузвенья фильтров низкой частоты: *а* — последовательно-производного типа m; *б* — типа k; *в* — параллельно-производного типа m.

Затухание у фильтров типа m в глубине области задерживания меньше, чем у фильтров типа k. Частота бесконечного затухания Ф.н.ч. типа m $f_\infty = f_c/\sqrt{1-m^2}$. Частотные и фазовые хар-ки Ф. н. ч. типа m (рис. 3) опреде-

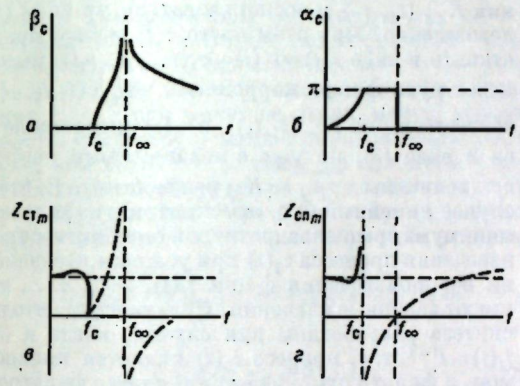


Рис. 3. Частотные хар-ки фильтра низкой частоты типа m: *а* — затухания; *б* — фазового сдвига; *в* — характеристич. сопротивления Т-звена; *г* — характеристич. сопротивления П-звена. Пунктир — мнимые значения, сплошная линия — действительные.

ляются ф-лами: затухание в полосе задерживания

$$\beta_c = \ln\left|\frac{1+mt}{1-mt}\right|,$$

сдвиг фазы в полосе пропускания

$$\operatorname{tg}\frac{\alpha_c}{2} = m\eta/\sqrt{1-\eta^2},$$

характеристич. сопротивление Т-звена

$$Z_{cт} = \sqrt{Z_1 Z_2}\,\frac{\sqrt{1-\eta^2}}{1-(1-m^2)\,\eta^2},$$

П-звена

$$Z_{cп} = \sqrt{Z_1 Z_2}\,\frac{1-(1-m^2)\,\eta^2}{\sqrt{1-\eta^2}}.$$

Здесь $t = \eta/\sqrt{\eta^2-1}$, а $\eta = f/f_c$. При стремлении частоты бесконечного затухания к бесконечности хар-ки деформируются, превращаясь в пределе в хар-ки Ф. н. ч. типа k. Идеальная частотная хар-ка Ф. н. ч. — прямоугольная. Однако она физически нереализуема, т. е. нет электрич. цепи, к-рая обладает такой хар-кой, но имеются дробно-рациональные функции частоты, дающие максимально гладкое, равномерно-колебательное приближение в полосе пропускания или равномерно-колебательное приближение как в полосе пропускания, так и в полосе задерживания (рис. 4), физически реализуемые многозвенными цепочечными Ф. н. ч. (рис. 5). Тип аппроксимирующей ф-ции и ее порядок выбираются так, чтобы удовлетворить заданным требованиям к частотной хар-ке. Число звеньев Ф. н. ч. равно порядку ф-ции, а для определения значения элементов

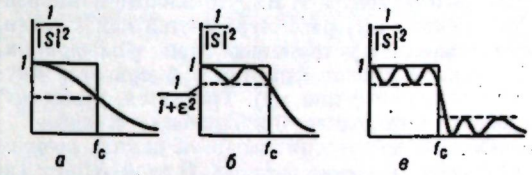


Рис. 4. Приближенное выражение идеальной частотной хар-ки фильтра низкой частоты: *а* — максимально гладкое; *б*—равномерно-колебательное в полосе пропускания; *в*—равномерно-колебательное в полосе пропускания и в полосе задерживания. (S — коэфф. передачи; ε— коэфф. неравномерности.

надо найти корни полиномов, составляющих ф-цию передачи. Для того чтобы избежать сложных вычислений корней полиномов высоких степеней, опубликованы таблицы значений элементов фильтров-прототипов. Фильтром-прототипом наз. нормализованный Ф. н. ч., т. е. имеющий угловую частоту среза $\omega_c' = 1$ *рад/сек* и характеристич. сопротивление $Z_c' = 1$ *ом*. Масштабным пересчетом значений элементов производится переход к Ф. н. ч. с произвольными значениями частоты среза ω_c и характеристич. сопротивления Z_c; при этом индуктивности умножаются на Z_c/ω_c, а емкости — на $1/Z_c\omega_c$. Рассмотренные Ф. н. ч. имеют цепочечную структуру; однако применяются и мостиковые фильтры, к-рые менее экономичны по числу

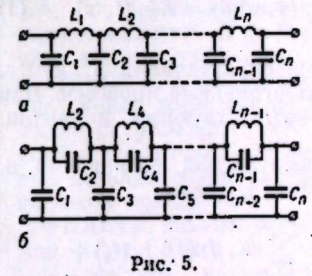


Рис. 5.

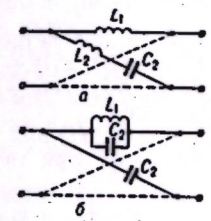


Рис. 6.

Рис. 5.Многозвенные цепочечные фильтры низкой частоты: *а* — с максимально гладким или равномерно-колебат. приближением в полосе пропускания; *б* — с равномерно-колебат. приближением в полосе пропускания и в полосе задерживания.

Рис. 6. Схемы однозвенных мостиковых фильтров низких частот.

элементов и не имеют заземленных клемм ни на входе, ни на выходе.

У мостиковых Ф. н. ч. (рис. 6) частоты среза определяются частотой резонанса контуров:

$$f_c = f_0 = 1/(2\pi\sqrt{L_1C_1}) = 1/(2\pi\sqrt{L_2C_2}).$$

Лит.: Босый Н. Д., Электрические фильтры, 4 изд., Киев, 1960; Моле Дж. Х., Расчет электрических фильтров для аппаратуры связи, пер. с англ., М.—Л., 1963; Альбац М. Е., Справочник по расчету фильтров и линий задержки, М.—Л., 1963; Собенин Я. А., Расчет полиномиальных фильтров, М., 1963. *М. Е. Альбац.*

ФИЛЬТР ОПТИМАЛЬНЫЙ (optimal filter; filtre optimal; optimaler Filter) — устройство, осуществляющее оптимальное в определенном смысле преобразование входного сигнала $x(t)$. Наиболее распространено требование, чтобы выходной сигнал фильтра $y(t)$ наилучшим образом воспроизводил нек-рый

полезный сигнал. При этом под полезным сигналом обычно подразумевается одна из компонент $z(t)$ входного сигнала $x(t)$ либо некоторый функционал $z(t)$ (напр., производная в заданной точке, предсказываемое значение в нек-рый момент и т. п.). Остальные компоненты сигнала $x(t)$ рассматриваются как помехи, подлежащие устранению при *фильтрации*. Выходной сигнал фильтра $y(t)$ при этом служит оценкой ф-ции $z(t)$. Требуется, чтобы $y(t)$ давало наилучшее приближение к $z(t)$.

Общий метод синтеза Ф. о. дается *статистических решений теорией*. В этой теории заданными считаются: 1) способ кодирования $z(t)$ в $x(t)$, т. е. способ комбинирования полезного сигнала с помехами; 2) статистич. сведения о $x(t)$ и $z(t)$; 3) ф-ция потерь, т. е. количественная мера отличия $y(t)$ от $z(t)$. Последняя определяет критерий синтеза. Возможности решения задачи синтеза и структура Ф. о. существенно зависят от всех трех факторов. Наиболее прост с точки зрения кодирования случай, когда $x(t)$ представляет собой аддитивную смесь полезного сигнала $z(t)$ с помехой $n(t)$, т. е. $x(t)=z(t)+n(t)$. Для этого случая разработана теория оптимальной линейной фильтрации, в к-рой оптимизация производится по минимуму среднеквадратичного уклонения $y(t)$ от $z(t)$. При этом для нахождения импульсной реакции линейного Ф. о. $k(t, \tau)$ необходимо знать только *корреляционные функции* $K_{zz}(t_1, t_2)=\overline{z(t_1)z(t_2)}$ и $K_{xz}(t_1,t_2)=\overline{x(t_1)z(t_2)}$. Когда сигнал $x(t)$ наблюдается на интервале (t_0, t), ф-ция $k(t,\tau)$ определяется интегральным ур-нием:

$$\int_{t_0}^{t} k(t, \tau)\, K_{xz}(\tau, s)\, d\tau = K_{zz}(t, s). \qquad (1)$$

Это ур-ние остается справедливым в случае, когда $z(t)$, $x(t)$ — многомерные процессы. При этом K_{xz}, K_{zz} — соответствующие корреляц. матрицы.

Ур-ние (1) для импульсной реакции Ф. о. решается при любых t_0, если

$$K_{xz}(t_1, t_2)=\sum_{i,j=1}^{m} K_{ij} f_i(t_1) f_j(t_2)+ +K_0(t_1)\,\delta(t_1-t_2), \qquad (2)$$

что соответствует, напр., помехе $n(t)$ в виде белого шума со спектр. плотностью K_0 и «квазирегулярному» сигналу

$$z(t)=\sum_{i=1}^{m} z_i f_i(t), \qquad (3)$$

где $f_i(t)$ — известные ф-ции, z_i — случайные коэфф., такие, что $\overline{z_i z_j}=K_{ij}$. Другой хорошо изученный случай, когда $z(t)$ и $x(t)$ — стационарные случайные процессы, т. е. $K_{xz}(t_1,t_2)=K_{xz}(t_1-t_2)$ и $K_{zz}(t_1,t_2)=K_{zz}(t_1-t_2)$.

Асимптотическое при $t_0\to-\infty$ решение ур-ния (1) соответствует при этом фильтру с $k(t, \tau)=k(t-\tau)$ (т. н. фильтр с бесконечной памятью). Это решение обобщается на случай процессов $z(t)$ и $x(t)$ со стационарными приращениями, т. е. таких нестационарных процессов, у к-рых производная нек-рого порядка стационарна. При $t_0\to-\infty$ ур-ние (1) переходит в ур-ние Винера — Хопфа и решается применением преобразования Фурье и метода факторизации. При конечном t_0 решение ур-ния (1) иногда отыскивается в классе фильтров с конечной памятью таких, что $k(t,\tau)=k(t-\tau)=0$ при $\tau<t-T$, $\tau>t$. Для стационарных $z(t)$ и $x(t)$ такое решение найдено в явном виде. Для смешанного случая, когда $z(t)$ является суммой процесса вида (3) и стационарного процесса либо процесса со стационарными приращениями, ур-ние (1) эффективно решается методом последоват. приближений, а иногда допускает точное решение.

Линейный фильтр, определяемый ур-нием (1), — наилучший среди любых (линейных и нелинейных) фильтров, если шум $n(t)$ — гауссов случайный процесс, сигнал $z(t)$ — либо гауссов процесс, либо процесс с неизвестным распределением вероятностей, обладающий заданной ф-цией корреляции, и если ф-ция потерь — произвольная симметричная ф-ция разности $y(t)-z(t)$.

В практич. задачах имеющихся статистич. сведений иногда недостаточно для определения $K_{zz}(t_1, t_2)$, и воспользоваться ур-нием (1) невозможно. При этом часто $z(t)$ можно представить в виде $z(t)=z_1(t)+z_2(t)$, где $z_1(t)$ имеет известную ф-цию корреляций $K^{(1)}_{zz}(t_1,t_2)$ [и соответственно $K^{(1)}_{xz}(t_1,t_2)$], а $z_2(t)$ представляется в виде (3), но уже с неизвестными коэфф. z_i (величины $\overline{z_i z_j}=K_{ij}$ неизвестны). В этом случае линейный Ф.о. отыскивается из условия минимума среднеквадратичной ошибки воспроизведения процесса $z_1(t)$ при условии, что ошибки воспроизведения ф-ции $f_i(t)$, $i=1, 2,..., n$, имеют заданные значения. Практически методы синтеза разработаны для случая, когда в (3) $f_i(t)=t^{i-1}$, т. е. процесс $z_2(t)$ является полиномом, а фильтр отыскивается в классе фильтров с пост. параметрами, т. е. $k(t,\tau)=k(t-\tau)$ с бесконечной либо конечной памятью.

Задача синтеза Ф. о. приближенно решена для практически важного случая, когда $n(t)$ — белый векторный шум с компонентами $n_i(t)$, $\overline{n_i(t_1)n_j(t_2)}=K_{ij}(t_1)\delta(t_1-t_2)$, а $z(t)$ — векторный случайный процесс, компоненты к-рого $z_i(t)$, $i=1,2,..., n$, подчиняются системе произвольных нелинейных дифференц. ур-ний вида

$$\frac{dz_i}{dt}=f_i(t, z_1, \ldots, z_n)+ +b_i(t, z_1, \ldots, z_n)\,\xi_i(t), \qquad (4)$$

где $\xi_i(t)$ — белый шум ($i=1,..., n$), $\xi_i(t_1)\xi_j(t_2)=B_{ij}(t_1)\delta(t_1-t_2)$. Структура нелинейного фильтра, образующего оптим. оценки $y_i(t)$ ф-ций $z_i(t)$ при любой симметричной относительно разности $y(t)$ и $z(t)$ ф-ции потерь, определяется системой ур-ний:

$$\frac{dy_i}{dt}=f_i(t, y_1, \ldots, y_n)+ +\sum_{j=1}^{n} D_{ij}(t, y_1, \ldots, y_n)\,[x_j(t)-y_j(t)], \qquad (5)$$

$$\frac{dD_{ij}}{dt}+\sum_{k,l=1}^{n} D_{ik}Q_{kl}D_{lj}+ +\sum_{k=1}^{n}[F_{ki}D_{kj}+D_{ik}F_{kj}]=K_{ij}(t), \qquad (6)$$

где $i, j=1, 2, \ldots, n$, $D_{ij}=D_{ji}(t, y_1, \ldots, y_n)$, $Q_{ij}=Q_{ij}(t, y_1, \ldots, y_n)=b_i(t, y_1, \ldots, y_n)\,B_{ij}b_j(t, y_1, \ldots, y_n)$, $F_{ij}=F_{ij}(t, y_1, \ldots, y_n)=\frac{\partial f_i(t, y_1, \ldots, y_n)}{\partial y_j}$.

Это решение включает как частные случаи, так и большинство случаев, рассмотренных в теории линейной фильтрации.

Часто в практич. приложениях сигнал $x(t)$ не является суммой $z(t)$ и $n(t)$ и полезный сигнал $z(t)$ достаточно сложно закодирован в $x(t)$. Примером служит кодирование измеряемых координат радиолокац. целей в принимаемом радиолокатором сигнале. Ф. о. при этом получается существенно нелинейным относительно сигнала $x(t)$. Его структура найдена приближенно, если функционал плотности вероятности для реализаций сигнала $x(t)$ при фиксированной реализации $z(t)$ представим в виде:

$$p[x(\tau)\,|\,z(\tau)]=C_0\exp\left\{\int_{t_0}^{t} l[x(s), z(\tau), \tau]\,d\tau\right\}, \qquad (7)$$

где C_0 не зависит от $z(\tau)$, а $l[x(s), z(\tau),\tau]$ является функционалом реализации $x(s)$ на интервале (t_0, τ) и ф-цией величины $z(\tau)$. Такое представление физически соответствует условию, что при всякой фиксированной реализации $z(\tau)$, к-рая имеет не очень малую вероятность, сигнал $x(\tau)$ меняется значительно быстрее, чем $z(\tau)$. Это условие на практике часто выполняется. Структура нелинейного фильтра, образующего оптим. оценку $y(t)$ ф-ции $z(t)$, определяется, напр., следующим ур-нием:

$$y(t)=\int_{t_0}^{t} k(t, \tau)\,[x^*(\tau)+y(\tau)]\,d\tau= =\int_{t_0}^{t} g(t, \tau)\,x^*(\tau)\,d\tau, \qquad (8)$$

где $x^*(\tau)=K_0^*\left.\frac{\partial l[x(s), z, \tau]}{\partial z}\right|_{z=y(\tau)}$ — нелинейный функционал $x(s)$ и нелинейная ф-ция выходного сигнала фильтра $y(\tau)$,

$$\frac{1}{K_0^*}=-\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_0^T\left.\frac{\overline{\partial^2 l[x(s), z, \tau]}}{\partial z^2}\right|_{z=y(\tau)} d\tau, \qquad (9)$$

где усреднение проводится по ансамблю сигналов $x(t)$ при заданной реализации $z(t)=z$, а импульсная реакция $k(t, \tau)$ определяется ур-нием (1) при $K_{xz}(t_1, t_2)=K_{zz}(t_1, t_2)+ +K_0^*\delta(t_1-t_2)$. Импульсная реакция $g(t, \tau)$ связана с $k(t, \tau)$ ур-нием

$$g(t, \tau)=k(t, \tau)+\int_{\tau}^{t} k(t; s)\,g(s, \tau)\,ds. \qquad (10)$$

Для аддитивной смеси $z(t)$ с белым шумом спектральной плотности K_0 функционал l вырождается в ф-цию и имеет вид

$$l=-\frac{1}{2K_0}[x(\tau)-z(\tau)]^2.$$

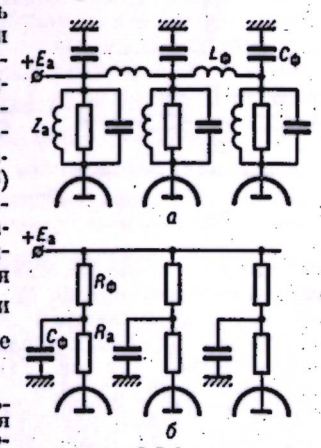
При этом $K_0^*=K_0$, $x^*(\tau)=x(\tau)-y(\tau)$ и ур-ние (8) определяет оптим. оператор линейной фильтрации. В общем случае сигнал $x^*(\tau)$ является мерой рассогласования между текущими значениями $y(\tau)$ и $z(\tau)$, а устройство, формирующее $x^*(\tau)$ по входному сигналу $x(t)$, — оптимальным нелинейным дискриминатором. В целом фильтр, реализующий ур-ние (8), является нелинейной системой с *обратной связью*, в к-рой выходной сигнал $y(t)$ используется для управления нелинейным дискриминатором.

Лит.: Солодовников В. В., Статистическая динамика линейных систем автоматического управления, М., 1960; Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 3 изд., М., 1962; Вопросы статистической теории радиолокации, под ред. Г. П. Тартаковского, т. 2, М., 1964. *В. Г. Репин.*

ФИЛЬТР ПОЛОСОВОЙ (bandpass filter; filtre passebande; Bandfilter) — см. *Полосовой фильтр*.

ФИЛЬТР ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ЧАСТОТЫ (intermediate frequency filter; filtre à moyenne fréquence; Zwischenfrequenzfilter) — полосовой фильтр, используемый в супергетеродинных приемниках, в каскадах усиления промежуточной частоты. В ламповых усилителях в качестве Ф. п. ч. применяют одиночный резонансный контур или два связанных контура. Одиночный контур, обладающий малой крутизной спада частотной хар-ки, используют в многокаскадных УПЧ, где крутизна спада, обеспечивающая необходимую избирательность, получается благодаря тому, что результирующая частотная хар-ка равна произведению хар-к каскадов. Взаимной расстройкой контуров можно изменять форму частотной хар-ки. В малокаскадных УПЧ применяют связанные контуры. При связи между контурами, превышающей критическую, частотная хар-ка получается двугорбой, причем, изменяя связь, получают заданную неравномерность. В УПЧ на полупроводниковых триодах с одиночными или связанными контурами в каждом каскаде бывает трудно получить стабильную форму частотной хар-ки при изменениях окружающей темп-ры или режима триодов, т. к. при этом меняются его входная и выходная емкости. Для борьбы с нестабильностью в таких усилителях в качестве Ф. п. ч. применяют т. н. фильтр сосредоточенной селекции, к-рый представляет собой многозвенный *полосовой фильтр*, включаемый на входе или выходе усилителя, в то время как все остальные каскады осуществляют усиление в более широкой полосе частот. *М. Е. Лльбац.*

ФИЛЬТР РАЗВЯЗЫВАЮЩИЙ (decoupling filter; filtre de séparation; Trennfilter) — фильтр, включаемый в цепи питания лами или транзисторов с целью исключить обратную связь между каскадами через сопротивление источника питания. Применяются последовательная (рис. *а*) и параллельная (рис. *б*) схемы развязывающих цепей. Параметры Ф. р. выбираются из условия $X_L \geqslant 100S'X_C^2$ или $R_\Phi \geqslant 100SX_C^2$, где



Развязывающие фильтры в цепи питания анодов ламп: *а* — последовательная схема включения *LC*-фильтров; *б* — параллельная схема включения *RC*-фильтров.

X_L — реактивное сопротивление дросселя, X_C — реактивное сопротивление конденсатора, R_Φ — сопротивление Ф. р. Постоянная времени

Ф. р. должна быть $R_ф C_ф \gg F_н$, где $F_н$ — низшая частота спектра сигнала. Обеспечить устойчивость многокаскадных усилителей без Ф. р. практически невозможно. *М. Е. Алобин.*

ФИЛЬТР RC [*RC filter*; *filtre RC* (à résistances et capacités); *RC-Filter*] — фильтрующая цепь, состоящая исключительно из активных сопротивлений и емкостей; применяется в устройствах автоматики и радиоэлектроники для формирования частотной хар-ки в диапазоне НЧ (от долей *гц* до десятков *кгц*). Пассивные Ф. *RC* представляют собой различные комбинации активных сопротивлений и емкостей. Дифференцирующее звено Ф. *RC* (рис. 1) имеет хар-ки фильтра ВЧ, интегрирующее звено (рис. 2) — хар-ки фильтра НЧ; их затухание b и фазовый сдвиг a в зависимости от частоты ω равны:

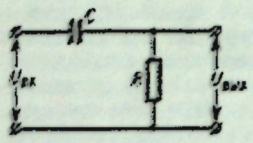


Рис. 1.

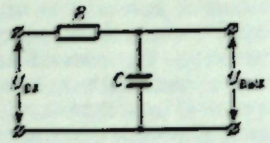


Рис. 2.

для звена рис. 1

$$b = 20 \lg \sqrt{1 + (1/\omega RC)^2}\ дб;$$
$$a = \operatorname{arctg}(-1/\omega RC);$$

для звена рис. 2

$$b = 20 \lg \sqrt{1 + (\omega RC)^2}\ дб;\quad a = \operatorname{arctg} \omega RC.$$

Подключение нагрузки с конечной величиной входного сопротивления делает частотную хар-ку более пологой. При каскадном включении неск. звеньев пассивного Ф. *RC* крутизна скатов частотной хар-ки увеличивается, но сильно возрастает затухание в полосе прозрачности. Каскадное включение дифференцирующего и интегрирующего звеньев образует полосовой пассивный Ф. *RC*. Пассивный Ф. *RC* может иметь также хар-ки заграждающего фильтра; при этом сопротивления и емкости включаются по схеме перекрытого (рис. 3, *а*, *б*) или двойного Т-образного (рис. 4) мостов.

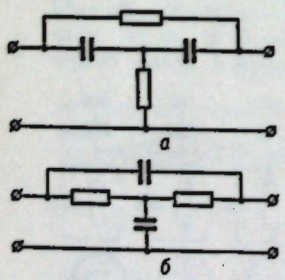


Рис. 3.

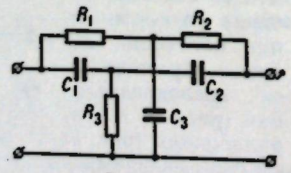


Рис. 4.

Активные Ф. *RC* представляют собой усилители с обратной связью, в цепь к-рой включены пассивные Ф. *RC*. Наибольшее распространение активные Ф. *RC* получили в качестве избирательных усилителей с резонансной частотной хар-кой. Такие усилители используют положит. или отрицат. обратную связь. В схемах положит. обратной связи включается три (реже четыре) дифференцирующих или интегрирующих фазосдвигающих звена; в случае трех идентичных фазосдвигающих звеньев резонансная частота соответственно равна $\omega_{одиф} \cong 1/RC\sqrt{6}$, $\omega_{оинт} \cong \sqrt{6}/RC$. Достоинством активных Ф. *RC* с положит. обратной связью является наличие усиления, недостатком — возможность самовозбуждения; для увеличения стабильности вводится отрицат. обратная связь (обычно не зависящая от частоты). В схемах с отрицат. обратной связью включаются различные мостовые Ф. *RC*. Наилучшую избирательность дает усилитель с двойным Т-мостом (см. *Фильтр Скотта*). Включение в цепь обратной связи одного-двух дифференцирующих или интегрирующих звеньев дает Ф. *RC* нижних или верхних частот с крутым скатом частотной хар-ки.

Лит.: Босый Н. Д., Электрические фильтры, 4 изд., Киев, 1960; Асеев Б. П., Фазовые соотношения в радиотехнике, 3 изд., М., 1959. *И. М. Коган.*

ФИЛЬТР СВЕРХВЫСОКИХ ЧАСТОТ, фильтр СВЧ (ultra high frequency filter; filtre à ultra-haute fréquence; UHF-Filter) — устройство для выделения определенных участков спектра частот метрового, дециметрового, сантиметрового или миллиметрового диапазонов. Ф.с.ч. используются в радиотелеметрии, многоканальной радиосвязи, телевидении и радиолокации. Аналогично фильтрам, к-рые предназначены для диапазонов более длинных волн, Ф.с.ч. подразделяются на фильтры нижних частот, верхних частот, полосовые и заградительные (см. *Фильтр электрический*). Частотные Ф. с. ч. метрового диапазона волн не имеют существ. особенностей по сравнению с фильтрами длинноволновых диапазонов; они строятся из элементов с сосредоточ. постоянными (индуктивностей и емкостей) в виде комбинаций Т- или П-образных звеньев типа постоянного k или производных звеньев типа m. Частотные Ф. с. ч. дециметрового диапазона, в к-рых используются преимущественно элементы *коаксиальных линий*, могут быть разбиты на две разновидности: а) Ф. с. ч. из коротких отрезков линий, т. е. таких, к-рые приближенно эквивалентны сосредоточ. индуктивностям или емкостям; б) Ф. с. ч. из резонансных отрезков линий, резонансы к-рых находятся в пределах полосы пропускания фильтра. Короткие отрезки линий с уменьшенным волновым сопротивлением (рис. 1, *а* и 1, *в*) эквивалентны

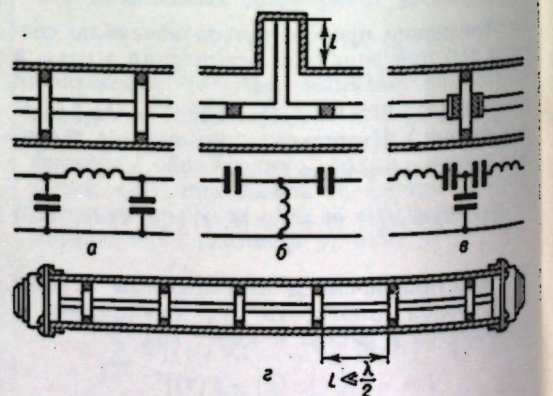


Рис. 1. Фильтры СВЧ из коротких отрезков коаксиальных линий: *а* — звено фильтра СВЧ нижних частот и его эквивалентная схема; *б* — звено фильтра СВЧ верхних частот и его эквивалентная схема; *в* — звено полосового фильтра СВЧ и его эквивалентная схема; *г* — фильтр СВЧ нижних частот, составленный из пяти звеньев.

шунтирующим емкостям; разрывы внутр. проводника коаксиала, заполненные диэлектриком (рис. 1, *б* и 1, *в*), — последовательным емкостям; короткий шлейф длиной L порядка

$\frac{\lambda}{8}$ (λ — длина волны, рис. 1, *б*) — шунтирующей индуктивности и т. д. В зависимости от требований к крутизне спада частотной хар-ки применяют несколько (3—15) звеньев, соединенных каскадно (рис. 1, *г*). Ф. с. ч. подобного типа трудно сконструировать с узкой полосой пропускания, т. к. для этого потребуются линии с чрезмерно высокими волновыми сопротивлениями. С увеличением рабочей частоты размеры Ф. с. ч. из коротких отрезков линий становятся весьма малыми. Ф. с. ч., выполненные из резонансных отрезков линий, имеют бо́льшие размеры, что делает их практически более пригодными для частот выше 1000 *Мгц*. В четырехзвенном полосовом Ф. с. ч. (рис. 2) разрывы в центр. проводнике

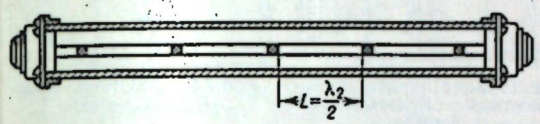


Рис. 2. Четырехзвенный полосовой фильтр СВЧ из резонансных отрезков линий.

коаксиала заполнены диэлектриком и расположены на расстояниях, равных половине длины волны, соответствующей верхней граничной частоте полосы пропускания. Для всех Ф. с. ч., выполненных из отрезков линий, характерен общий недостаток — наличие паразитных полос пропускания. Однако у Ф. с. ч. из коротких линий паразитные полосы расположены дальше от основной и более узки, чем у Ф. с. ч. из резонансных отрезков линий.

В сантиметровом диапазоне используются Ф. с. ч., построенные на основе элементов волноводной техники и *резонаторов объемных*. Однородный металлич. *волновод* является простейшим Ф. с. ч. верхних частот, благодаря наличию в его частотной хар-ке области большого затухания для всех частот ниже критической. Простейший полосовой Ф. с. ч. — одиночный объемный резонатор с одним типом колебаний. Для приближения частотной хар-ки такого полосового Ф.с.ч. к прямоугольной можно использовать резонатор, в котором возбуждаются два типа колебаний. Колебание одного типа связывается с входной линией резонатора, другого — с выходной. Связь между колебаниями обоих типов осуществляется за счет к.-л. деформации внутренней поверхности резонатора. Подобные устройства называют Ф.с.ч. с межтиповой связью; их частотные хар-ки аналогичны хар-кам системы двух связанных контуров. В сантиметровом диапазоне широко применяются полосовые Ф.с.ч. с непосредств. связью и Ф. с.ч. с четвертьволновой связью между отдельными резонаторами. Цепочка резонаторов с непосредств. связью конструируется обычно путем размещения индуктивных диафрагм в отрезке прямоугольного волновода (рис. 3). Резонансные камеры имеют длину, близкую к половине длины волны в волноводе, и настраиваются по отдельности на среднюю частоту полосы пропускания с помощью емкостных винтов. В Ф. с. ч. с непосредств. связью используются также цилиндрич. и коаксиальные объемные резонаторы. Недостатки Ф. с. ч. с непосредств. связью — трудность получения узких полос пропускания при малых вносимых потерях, жесткие допуски на размеры элементов связи, сложность настройки из-за взаимного влияния резонаторов. В Ф. с. ч. с четвертьволновой связью резонансные камеры, резонансные диафрагмы или объемные резонаторы размещаются в линии передачи (волноводе, коаксиале) на расстояниях, равных нечетному числу четвертей длины волны. Четвертьволновые линии связи обеспечивают простой способ соединения отдельных резонаторов. Каждый резонатор может быть изготовлен, настроен и испытан как отдельный блок; при сборке требуется только незначит. подстройка. Допуски на размеры диафрагм в Ф. с. ч. с четвертьволновой связью значительно менее жесткие, чем в Ф. с. ч. с непосредств. связью. В дециметровом диапазоне и длинноволновой части сантиметрового диапазона применяют также Ф. с. ч., построенные на основе полосковых волноводов (ленточных линий). В полосовом Ф. с. ч. с непосредств. связью на симметричной полосковой линии (рис. 4, *а*) части линии l_1, l_2,... представляют

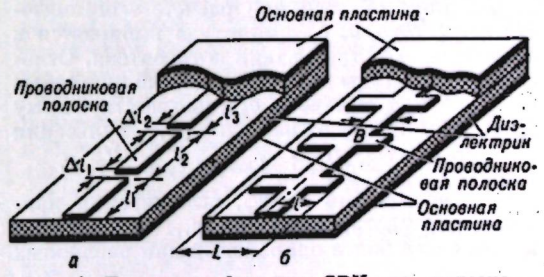


Рис. 4. Полосовые фильтры СВЧ на полосковых линиях; *а* — с непосредственной связью; *б* — с четвертьволновой связью.

собой отдельные резонаторы, связанные между собой емкостными зазорами $\Delta l_1, \Delta l_2, \ldots$ Один из возможных вариантов полосового Ф. с. ч. с четвертьволновой связью показан на рис. 4, *б*. Поперечные ответвления центр. проводника полосковой линии образуют резонаторы, добротность и резонансная частота к-рых зависят от связи с передающей линией, т. е. от отношения $\frac{l}{L}$. На добротность резонаторов влияет также ширина проводящей полоски B; при $B = \frac{\lambda_\frown}{4}$ ($\lambda_\frown$ — длина волны в полосковой линии) она будет максимальной. Расстояние между осевыми линиями соседних резонаторов выбирается равным нечетному числу $\frac{\lambda_\frown}{4}$, длина резонаторов L равна $\frac{\lambda_\frown}{2}$. Полосовые Ф. с. ч. подобного типа обеспечивают полосу пропускания порядка 5—15% от средней частоты при миним. потерях 1,5—3 *дб*. Полосковые Ф. с. ч. в дециметровом диапазоне дают значит. выигрыш в размерах и весе устройства по сравнению с волноводными и коаксиальными Ф. с. ч., требуют менее жестких допусков при изготовлении; процесс их произ-ва поддается автоматизации. Применение полосковых Ф. с. ч. открывает широкие возможности миниатюризации СВЧ аппаратуры.

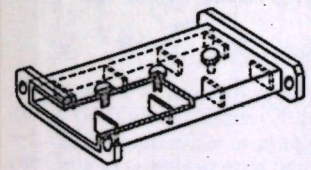


Рис. 3. Полосовой волноводный фильтр СВЧ из резонансных камер с непосредств. связью.

Лит.: Техника сверхвысоких частот, пер. с англ., ч. 1, М., 1952; Линии передачи сантиметровых волн, пер. с англ., ч. 2, М., 1951; Саусворт Дж. К., Принципы и применения волноводной передачи, пер. с англ., М., 1955; Печатные схемы сантиметрового диапазона. Сб. ст., [пер. с англ.], под ред. В. И. Сушкевича, М., 1956. *Л. Л. Москвитин.*

ФИЛЬТР СГЛАЖИВАЮЩИЙ (smoothing filter; filtre épurateur; Glättungsfilter)—устройство для уменьшения величины перем. составляющей пульсирующего напряжения, получаемого от выпрямителя, генератора пост. тока или др. *источника электропитания*.

Сглаживающее действие фильтра характеризуется коэфф. сглаживания (фильтрации) q, представляющим собой отношение амплитуды первой гармоники напряжения пульсации (перем. составляющей) на входе Ф. с. к амплитуде первой гармоники напряжения пульсации на выходе Ф. с.

$$q = U_{вх_1}/U_{вых_1}.$$

Т. к. амплитуды *высших гармонических* в *вентильных преобразователях* убывают, а сглаживающее действие фильтра в большинстве случаев повышается по мере возрастания порядка гармоники, то обычно ограничиваются определением коэфф. сглаживания для первой гармоники пульсации. Амплитуда этой гармоники на входе фильтра выпрямителя, зависящая от характера нагрузки выпрямителя (индуктивная или емкостная) и от его схемы, определяется при расчете выпрямителя; на выходе Ф. с. амплитуда выбирается в зависимости от требований потребителя. Отношение амплитуды первой гармоники пульсации на входе или выходе Ф. с. к соответствующему пост. напряжению наз. коэфф. пульсации

$$p_{вх} = U_{вх_1}/U_{вх_0}; \quad p_{вых} = U_{вых_1}/U_{вых_0}.$$

Для повышения коэфф. сглаживания применяются многозвенные Ф. с., составленные из двух или более одинаковых или различных

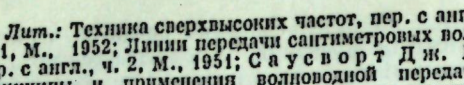


Рис. 1. Многозвенный сглаживающий фильтр.

звеньев (рис. 1). Общий коэфф. сглаживания многозвенного Ф. с.

$$q_{общ} = q_I q_{II} q_{III} \dots q_n.$$

В зависимости от типа элементов Ф. с. разделяются на: 1) индуктивно-емкостные (LC); 2) реостатно-емкостные (RC); 3) резонансные с последовательно или параллельно включенными звеньями; 4) электронные с обратной связью и без нее; 5) полупроводниковые (транзисторные). Действие Ф. с. основано на том, что элемент, включенный последовательно с нагрузкой (напр., дроссель, сопротивление, параллельный резонансный контур, электронная лампа, транзистор), представляет большое сопротивление для перем. составляющей пульсации и малое — для пост. тока I_0, а элемент, включенный параллельно нагрузке (напр., конденсатор, последовательный резонансный контур), — малое сопротивление для перем. составляющей и большое — для пост. тока.

Индуктивно-емкостный Ф. с. (рис. 2) состоит из дросселя, включенного последовательно с нагрузкой, и емкости, включенной параллельно нагрузке. При условии, что $m\omega L \gg 1/m\omega C \ll R_н$ (m — число фаз выпрямления, а ω — угловая частота питающей сети), коэфф. сглаживания равен

$$q = m^2\omega^2 LC - 1 \approx p_{вх}/p_{вых},$$

т. к. активное сопротивление обмотки дросселя мало и $U_{вх_0} \approx U_{вых_0}$. При работе выпрямителя на индуктивную нагрузку индуктивность дросселя должна удовлетворять условию

$$L \geqslant 4U_{вх_0}/(m^2-1)\,m\omega I_0.$$

При малых значениях постоянного тока ($I_0 \leqslant 10$—15 *ма*) часто применяется более простой и дешевый реостатно-емкостный фильтр (рис. 3), на сопротивлении к-рого R теряется

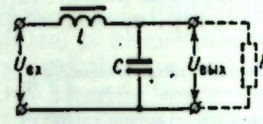


Рис. 2. Индуктивно-емкостный сглаживающий фильтр.

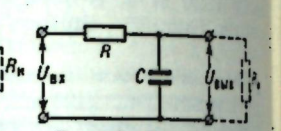


Рис. 3. Реостатно-емкостный фильтр.

сравнительно большая величина выпрямл. напряжения. При условии $R \geqslant 1/m\omega C \ll R_н$ коэфф. сглаживания

$$q = \sqrt{m^2\omega^2R^2C^2+1} = p_{вх}U_{вх_0}/p_{вых}U_{вых_0}.$$

Сопротивление фильтра R обычно выбирается по допустимому падению пост. напряжения $U_{вх_0} - U_{вых_0}$.

В резонансном Ф. с. (рис. 4, *а*) параллельный контур, включенный последовательно с нагрузкой, настраивается на частоту первой гармоники пульсации, для к-рой сопротивление контура максимально. Коэфф. сглаживания на резонансной частоте

$$q_p \approx m\omega LC/C_p r_L,$$

где r_L — активное сопротивление дросселя с учетом потерь в стали сердечника.

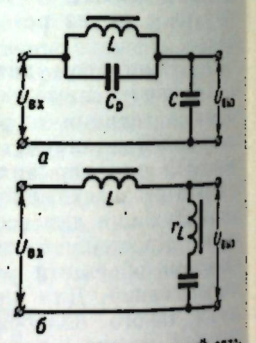


Рис. 4. Резонансный сглаживающий фильтр: *а* — с параллельным контуром; *б* — с последоват. контуром.

В резонансном Ф. с. (рис. 4, *б*) последоват. контур, включенный параллельно нагрузке, настраивается на частоту первой гармоники пульсации, для к-рой сопротивление контура минимально. Коэфф. сглаживания на резонансной частоте

$$q_p \approx m\omega L/r_L.$$

Для улучшения сглаживания в схему рис. 4, *а* иногда включают последовательно неск. параллельных контуров, а в схему рис. 4, *б* — параллельно неск. последоват. контуров, настроенных на высшие гармоники пульсации. Возможно применение комбинированного Ф. с. с параллельным контуром, включенным последовательно с нагрузкой, и последоват. контуром, включенным параллельно нагрузке. Хотя резонансные Ф. с. более компактны и дешевы, они требуют индивидуальной настройки, плохо сглаживают высшие гармоники пульсации и их коэфф. сглаживания резко уменьшается при колебаниях частоты питающей сети.

В схеме электронного Ф. с. без обратной связи (рис. 5) последовательно включенным элементом является пентод. Сглаживающее действие фильтра основано на том, что внутр. сопротивление пентода R_i для перем. составляющей тока значительно больше, чем для постоянной. Коэфф. сглаживания фильтра

$$q = \sqrt{m^2\omega^2R_i^2C^2+1}.$$

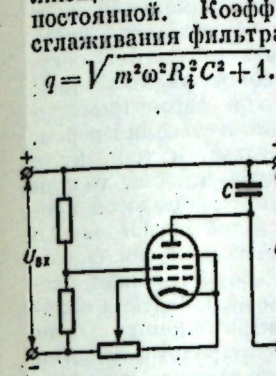


Рис. 5. Электронный сглаживающий фильтр.

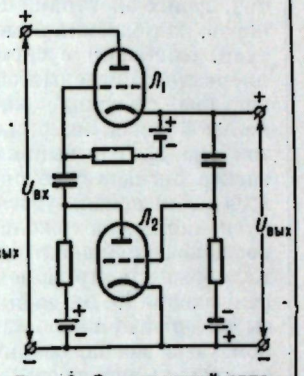


Рис. 6. Электронный сглаживающий фильтр с обратной связью.

Значительно лучшими сглаживающими св-вами обладает электронный фильтр с отрицат. обратной связью (рис. 6), к-рый по существу является стабилизатором напряжения по перем. составляющей. Перем. составляющая напряжения, вызванная пульсацией источника питания или периодич. колебаниями тока нагрузки, с выхода электронного Ф. с. подается через усилитель перем. напряжения (лампа $Л_2$) на сетку регулирующей лампы $Л_1$ в такой фазе, к-рая вызывает ослабление этой перем. составляющей. Лампа $Л_1$ в данной схеме работает в качестве практически безынерц. перем. сопротивления, величина к-рого изменяется с частотой перем. составляющей напряжения.

Коэфф. сглаживания электронного фильтра $q \approx \mu k$ возрастает с увеличением коэфф. усиления усилителя k и регулирующей лампы μ. При достаточном коэфф. усиления μ из схемы можно исключить усилитель.

Электронный фильтр с обратной связью позволяет получить малое выходное сопротивление $z_{вых}$ источника пост. напряжения, что очень важно для потребителей с меняющимся током нагрузки

$$z_{вых} \approx (R_в + R_i)/\mu k,$$

где $R_в$ — внутр. сопротивление источника без фильтра, R_i — внутр. сопротивление лампы $Л_1$.

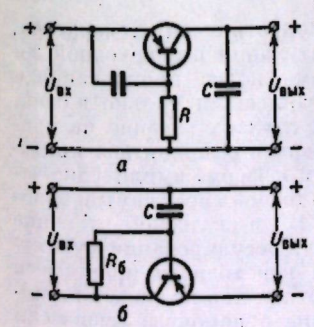


Рис. 7. Полупроводниковый сглаживающий фильтр.

Применение электронных Ф. с. целесообразно при очень низкой частоте пульсации или колебаний тока нагрузки, когда размеры и вес индуктивно-емкостных Ф. с. недопустимо возрастают. При невысоких выходных напряжениях возможно применение ПП Ф. с., в к-рых вместо дросселя или сопротивления включают сравнительно небольшой по размерам транзистор (рис. 7). Действие Ф. с. основано на том, что сопротивление участка эмиттер — коллектор транзистора для перем. тока значительно больше его сопротивления для пост. тока.

Коэфф. сглаживания схемы рис. 7, *а*

$$q \approx r_к(1-\alpha)\,m\omega C,$$

где $r_к$ — дифференц. сопротивление цепи коллектора, α — коэфф. усиления транзистора по току. Для улучшения сглаживающего действия в цепь эмиттера этой схемы иногда включают добавочное сопротивление. Коэфф. сглаживания схемы рис. 7, *б*

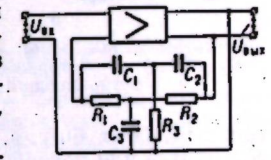
$$q \approx {}^1\!/_2 m\omega R_б C.$$

Улучшение сглаживания можно получить, включая последовательно с $R_б$ небольшой дроссель.

Недостаток полупроводниковых Ф. с. — зависимость падения напряжения на них и коэфф. сглаживания от темп-ры транзисторов.

Лит.: Терентьев Б. П., Электропитание радиоустройств, М., 1948; Рогинский В. Ю., Электрическое питание радиотехнических устройств, М.—Л., 1957; Федосеев П. Г., Выпрямители и стабилизаторы, М.—Л., 1960; Приполов Э. Я., Гарянинов С. А., Применение плоскостных полупроводниковых триодов в сглаживающем фильтре, «Э», 1958, № 5; Мазель К. Б., Электронные фильтры для выпрямительных устройств, там же, 1962, № 5. *К. Б. Мазель.*

ФИЛЬТР СКОТТА (Scott filter; filtre de Scott; Skottsches Filter) — активный фильтр RC, представляющий собой усилитель с обратной связью, в цепь к-рой включен двойной Т-мост (см. рис.). Применяется в устройствах автоматики и радиоэлектроники для получения избирательных частотных хар-к в диапазоне низких частот (от долей *гц* до неск. *кгц*).



Наилучшей избирательностью и наибольшей стабильностью обладает Ф. С. с симметричным мостом, у к-рого $R_1 = R_2 = R$, $C_1 = C_2 = C$, $R_3 = R/2$, $C_3 = 2C$. Такой мост на частоте $\omega_0 = 1/RC$ балансируется, обратная связь уже не имеет места и усиление Ф. С. $k_ф$ равно коэфф. усиления без обратной связи k. На всех других частотах обратная связь отрицательна, вследствие чего $k_ф < k$. Ф. С. при малых расстройках эквивалентен резонансному усилителю с контуром, добротность к-рого равна $Q \approx k/4$. Ф. С. с симметричным мостом критичен к точности его элементов; при отклонении их величин от номинала на частоте ω_0 появляется положит. обратная связь, приводящая к нестабильности системы. Для увеличения $k_ф$ и Q применяются Ф. С. с несимметричным мостом, создающим положит. обратную связь на частоте «резонанса». Для их стабилизации вводится элемент регулируемой отрицат. обратной связи, не зависящей от частоты и используемой одновременно для регулировки схемы.

Лит.: Босый Н. Д., Электрические фильтры, 4 изд., Киев, 1960; Бонч-Бруевич А. М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, 4 изд., М., 1956. *И. М. Коган.*

ФИЛЬТР ТИПОВ ВОЛН (mode filter; filtre de mode; Filter zur Wellentype) — устройство для выделения электромагнитных волн (колебаний) определенного типа в волноводных и коаксиальных линиях. Простейшим Ф. т. в. является *волновод*, поперечные

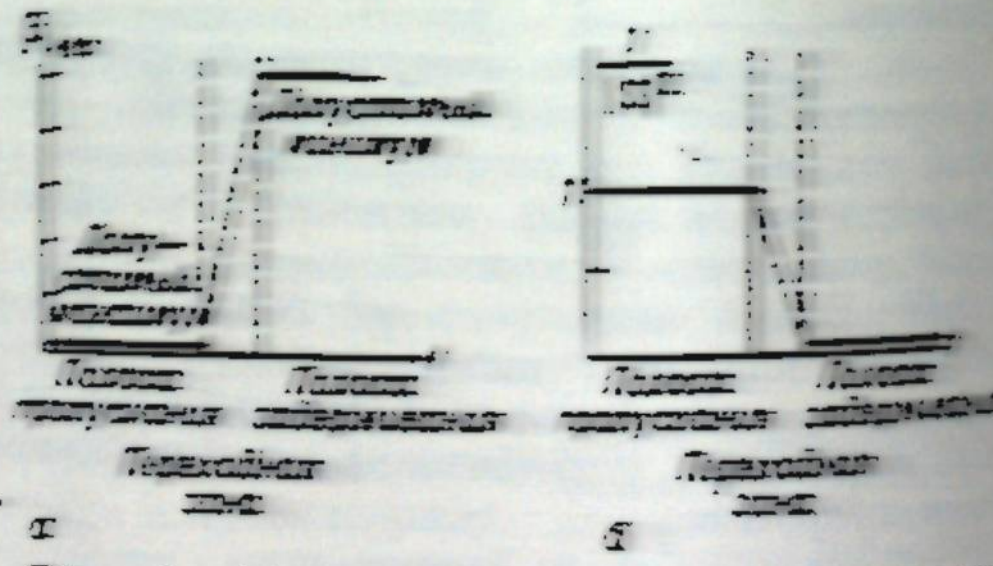
размеры к-рого уменьшены настолько, что он пропускает волны только одного осн. типа (вследствие зависимости критич. длины волны от поперечных размеров волновода). При необходимости использования волн одного из высших типов [напр., передача по круглым волноводам на большие расстояния часто осуществляется на волне $H_{01}(TE_{01})$, к-рая распространяется с малым затуханием из-за отсутствия продольных токов в стенках волновода] типы с большей критич. длиной волны отфильтровываются с помощью отражающих или поглощающих Ф. т. в. Основной принцип их устройства — размещение в волноводе неоднородностей — металлич. пластин, проволок, пластин из поглощающих материалов, параллельных электрич. силовым линиям поля волны, к-рую необходимо отфильтровать, и перпендикулярных электрич. линиям поля волны, к-рая должна распространяться без поглощения (отражения). Напр., ряд концентрич. проволочных колец, расположенных в поперечном сечении круглого волновода (рис., а), будет отражать волны типа $H_{11}(TE_{11})$ и пропускать практически без отражения волны типа $E_{01}(TM_{01})$. Ф. т. в., пропускающий волны $H_{01}(TE_{01})$, выполняется из металлических пластин, ориентированных по радиусам



[illegible]

[illegible]

отличаются от сигналов по своему частотному составу. Такими помехами могут явиться тепловые и дробовые *шумы* электронных усилителей; атм. шумы, вызванные грозовыми разрядами; напряжения помех, образованные случайными перемещениями в кинематич. цепях электрич. и электромеханич. приборов; напряжения помех, образованные флуктуац. ошибками в системах автоматич. регулирования; сигналы мешающих радиостанций, сигналы соседних каналов при многоканальной связи; напряжение пульсаций на выходе выпрямителей, и т. п. Если спектр сигнала уже спектра помехи, то для выделения используется Ф. э. с полосой пропускания, расположение к-рой согласовано с расположением спектра сигнала на оси частот. [illegible]



[illegible]

ментов электрич. цепи; б) определение числа, способа соединения и величин элементов Ф. э. таких, чтобы функциональная зависимость затухания от частоты соответствовала найденной ранее ф-ции наилучшего приближения. Первый метод (классический) синтеза Ф. э. основан на анализе частотных св-в неск. основных схем и их соединений. Знание этих св-в позволяет, комбинируя основные схемы, аппроксимировать заданную хар-ку. Второй метод прямого синтеза состоит в отыскании ф-ций, физически реализуемых и приближенно отображающих заданную частотную хар-ку; по их виду находят параметры внутр. схемы Ф. э.

Для того чтобы четырехполюсник, будучи линейным пассивным и обратимым, обладал свойствами Ф. э., его внутр. схема должна состоять из линейных пассивных элементов, полное сопротивление к-рых существенно зависит от частоты. Такими элементами могут быть или сосредоточенные емкости, индуктивности и взаимоиндуктивности, или отрезки линий передач с распределенными параметрами (волноводы, коаксиальные кабели, полосковые линии и т. п.). Отрезки линий передач используются в Ф. э. СВЧ диапазона, т. к. выполнение элементов с сосредоточ. параметрами невозможно из-за незначит. геометрич. размеров последних в этом диапазоне. Расчет таких Ф. э. чаще всего сводится к расчету эквивалентной схемы, в к-рой элементы физич. цепи заменяются эквивалентными индуктивностями, емкостями или их комбинациями. На более низких частотах всегда применяются Ф. э., состоящие из сосредоточ. элементов. Если Ф. э. составляется из реальных катушек индуктивностей и конденсаторов (фильтр *LC*), к-рые обладают потерями, то сопротивление потерь ведет к затуханию сигнала в полосе пропускания и ограничению макс. затухания в полосе задерживания, т. е. уменьшается разность затуханий. Благодаря малости потерь оказывается возможным идеализировать Ф. э., считая его состоящим из чисто реактивных элементов (реактивный Ф. э.). Когда применение индуктивностей нежелательно из-за больших размеров катушек, а затухание в полосе пропускания может быть компенсировано усилением, то используют Ф. э., состоящие из емкостей и активных сопротивлений, т. н. *фильтры RC*. Если элементами Ф. э. являются резонаторы, то Ф. э. наз. резонаторным. Кроме электрич. резонаторов, используются пьезоэлектрич., магнитострикционные и электромеханич. резонаторы.

Св-ва фильтров всех классов (НЧ, ВЧ, полосовых и заграждающих) могут быть определены, если известны характеристич. сопротивление Z_c Ф. э., его характеристич. постоянная передачи $g_c=\beta_c+j\alpha_c$ (β_c— постоянная затухания, α_c—фазовая постоянная) и n— показатель симметрии (см. *Четырехполюсник*). Матрица передачи Ф. э., согласованного по входу и выходу ($Z_{в}=Z_{c2}=nZ_c$ и $Z_j=Z_{c1}=Z_c/n$), имеет вид:

$$\begin{Vmatrix} n\,\mathrm{ch}\,g & nZ_c\,\mathrm{sh}\,g \\ \frac{1}{nZ_c}\mathrm{sh}\,g & \frac{1}{n}\mathrm{ch}\,g \end{Vmatrix} = \begin{Vmatrix} n & 0 \\ 0 & \frac{1}{n} \end{Vmatrix} \cdot \begin{Vmatrix} \mathrm{ch}\,g & Z_c\,\mathrm{sh}\,g \\ \frac{1}{Z_c}\mathrm{sh}\,g & \mathrm{ch}\,g \end{Vmatrix},$$

где произведение матриц в правой части отображает каскадное включение идеального тр-ра (без потерь и рассеяния) и симметричного Ф.э., что эквивалентно несимметричному Ф.э., матрица к-рого стоит в левой части. Любой Ф. э. можно представить типовой схемой замещения, состоящей из трех полных сопротивлений (рис. 2). Ф. э. симметричен, если $Z_A=Z_C$.

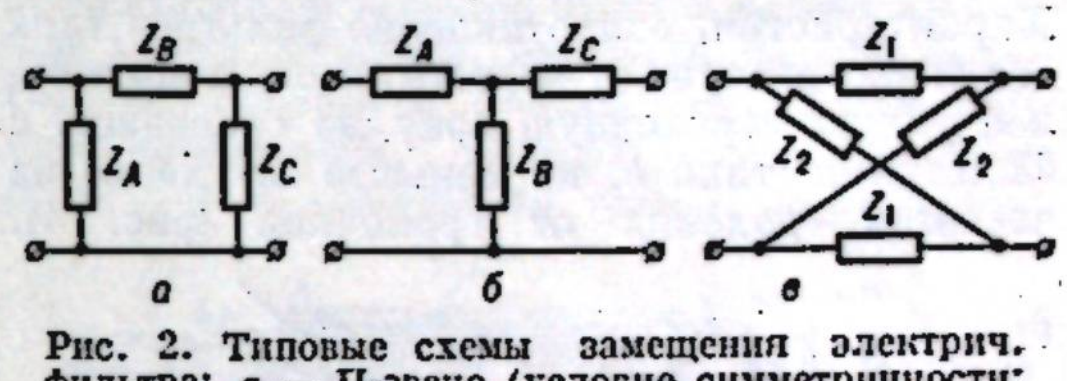


Рис. 2. Типовые схемы замещения электрич. фильтра: *а* — П-звено (условие симметричности: $Z_A = Z_C = 2Z_2$; $Z_B = Z_1$); *б* — Т-звено (условие симметричности: $Z_A = Z_C = Z_1/2$; $Z_B = Z_2$); *в* — мостиковое звено.

Кроме того, симметричный Ф. э. может изображаться мостиковой схемой (рис. 2, *в*). Для типовых симметричных схем замещения характеристич. параметры могут быть представлены ф-лами: Т-звено —

$$Z_{cт}=\sqrt{Z_1Z_2}\,\sqrt{1+Z_1/4Z_2};$$

$$\mathrm{th}\,\frac{g}{2}=\sqrt{Z_1/4Z_2}\Big/\sqrt{1+Z_1/4Z_2};$$

П-звено —

$$Z_{cп}=\sqrt{Z_1Z_2}\Big/\sqrt{1+Z_1/4Z_2};$$

$$\mathrm{th}\,\frac{g}{2}=\sqrt{Z_1/4Z_2}\Big/\sqrt{1+Z_1/4Z_2};$$

мостиковое звено —

$$Z_c=\sqrt{Z_1Z_2};\quad \mathrm{th}\,\frac{g}{2}=\sqrt{Z_1/Z_2}.$$

Для Ф. э. без потерь характеристич. постоянная распространения в полосе пропускания мнима и равна фазовой постоянной (затухание равно нулю), в полосе задерживания — действительна и равна затуханию, при этом фазовая постоянная $\alpha_c=k\pi$. Последнее условие является ур-нием для определения граничной частоты. Ф. э., у к-рых двухполюсники Z_1 и Z_2 взаимообратны, т. е. $Z_1 Z_2=k^2$, называются Ф. э. типа k. Это наиболее простые Ф. э., затухание к-рых становится равным бесконечности только на частотах, равных нулю или бесконечности (полюс затухания лежит в нуле или бесконечности). Последовательным включением в параллельное плечо Т-звена сопротивления такого же характера, какое стоит в последовательном плече, или параллельным включением в последовательное плечо П-звена проводимости того же характера,

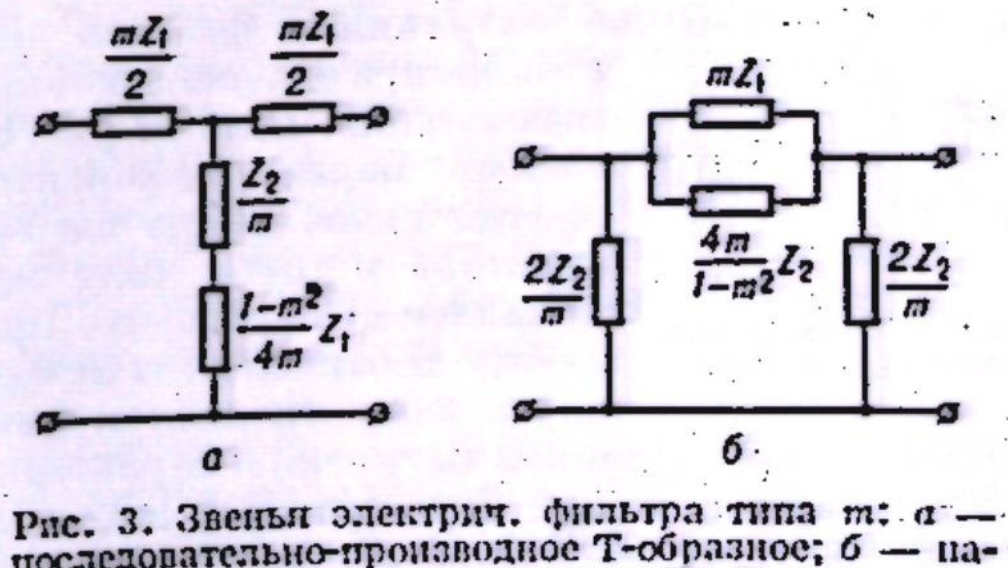


Рис. 3. Звенья электрич. фильтра типа m: *а* — последовательно-производное Т-образное; *б* — параллельно-производное П-образное.

какое стоит в параллельном плече, достигается получение полюса затухания при конечном значении частоты, т. к. в соответствующих плечах образованы резонансные контуры

(рис. 3). Такие фильтры наз. фильтрами типа m. Сопротивления ветвей равны:

для Т-звена —

$$Z_1' = mZ_1;\ Z_2' = Z_2/m + (1-m^2)\,Z_1/4m;$$

для П-звена —

$$1/Z_1' = 1/mZ_1 + (1-m^2)/4mZ_2;\quad Z_2' = Z_2/m.$$

Характеристич. сопротивление фильтров типа m меньше зависит от частоты, и они имеют более узкую переходную зону по сравнению с фильтрами типа k, но меньшее затухание на частотах, далеких от граничной (рис. 4).

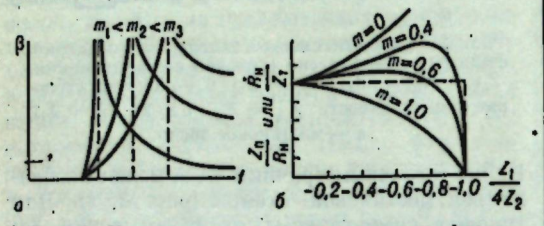


Рис. 4. Характеристич. кривые электрич. фильтров типа m: $а$ — зависимость затухания от частоты; $б$ — зависимость характеристич. сопротивления от частоты.

Дальнейшее усложнение внутренней схемы позволяет получить фильтры типа mm' с двумя полюсами на конечных частотах. Согласованное включение неск. Т-, П- или мостиковых звеньев позволяет получить многозвенный Ф. э. с заданной частотной хар-кой затухания. Внутренние звенья такого Ф. э. делаются типа k, а концевые полузвенья для улучшения согласования с нагрузкой — типа m (рис. 5).

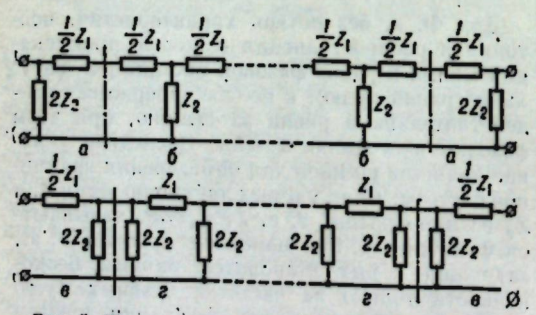


Рис. 5. Метод построения многозвенного фильтра: $а$ — концевое Т-звено; $б$ — внутренние Т-звенья; $в$ — концевое П-полузвено; $г$ — внутренние П-звенья.

Рабочая постоянная распространения Ф. э. $g_р = \beta_р + j\alpha_р = \ln\sqrt{E^2/4Z_1 I_2^2 Z_н} = \ln S$, где $\beta_р$ и $\alpha_р$ — рабочие затухание и фазовая постоянная, а значение остальных величин ясно из рис. 6. Рабочие параметры характеризуют связь между эдс генератора и током (или напряжением) в нагрузке при любых соотношениях между внутр. сопротивлением генератора, сопротивлением нагрузки и характеристич. сопротивлением фильтра. Заданная в соответствии с рис. 1,$б$ частотная хар-ка аппроксимируется рациональной ф-цией, удовлетворяющей условию физич. осуществимости. В частности, физически осуществимыми ф-циями, аппроксимирующими, как показано на рис. 7, идеализированную частотную хар-ку

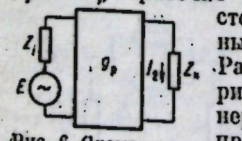


Рис. 6. Схема включения фильтра.

Ф. э. НЧ, являются полиномы Батерворта, Чебышева и рациональные дроби Золотарева. Аналитич. выражение аппроксимирующих

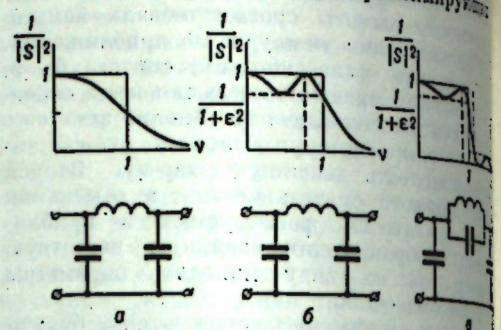


Рис. 7. Частотные хар-ки трехэлементного нормализованного фильтра при аппроксимации: $а$ — Батерворта; $б$ — Чебышева; $в$ — Золотарева.

ф-ций имеет вид: а) Батерворта, или максимально гладкой, —

$$1/|S|^2 = 1/(1+\omega^{2n});$$

б) Чебышева, или равномерно колебательной в полосе пропускания, —

$$1/|S|^2 = 1/[1+\varepsilon^2 T_n^2(\omega)],$$

где S — коэфф. передачи, ε — коэфф. неравномерности и $T_n(\omega) = \cos n \arccos x$ при $x \leqslant 1$; $T_n(\omega) = \operatorname{ch} n \operatorname{Arch} x$ при $x \geqslant 1$; в) Золотарева, или равномерно-колебательной как в полосе пропускания, так и в полосе задерживания, —

$$1/|S|^2 = h^2/[1+\varepsilon^2 R_n^2(\omega)],$$

где

$$R_n(\omega) = \frac{(\omega_1^2-\omega^2)\dots(\omega_{2n-1}^2-\omega^2)}{(1-\omega_1^2\omega^2)\dots(1-\omega_{2n-1}^2\omega^2)}$$ при n четном

и

$$R_n(\omega) = \frac{\omega(\omega_2^2-\omega^2)(\omega_4^2-\omega^2)\dots(\omega_{2n}^2-\omega^2)}{(1-\omega_2^2\omega^2)\dots(1-\omega_{2n}^2\omega^2)}$$ при n нечетном.

По виду ф-ции передачи $|S|^2$ может быть определена оптим. структура Ф. э., содержащего миним. число элементов. Для этого по ф-ции $|S(\omega)|^2$ определяется ф-ция $S(p)$ (аргумент $j\omega$ заменяется комплексной частотой p), причем для минимально-фазовых цепей действит. и мнимая части ф-ции передачи однозначно связаны. По виду ф-ции $S(p) = P(p)/Q(p)$, т. е. по расположению ее нулей и полюсов на комплексной плоскости, может быть найдено выражение элементов матрицы Ф. э. как ф-ций комплексной частоты p, в т. ч. полное сопротивление холостого хода $Z_{xx}(p)$ или полная производимость короткого замыкания

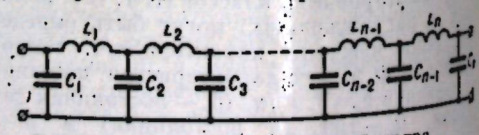


Рис. 8. Лестничная структура фильтра.

$Y_{кз}(p)$. Если разложить эти ф-ции в цепную дробь, то коэфф. разложения будут равны величинам элементов лестничной структуры (рис. 8.):

$$Z_{xx}(p) = L_1 p + \cfrac{1}{C_1 p + \cfrac{1}{L_2 p + \dots + \cfrac{1}{L_n p + \cfrac{1}{C_n}}}}.$$

Доведение расчета до определения величин элементов требует весьма трудоемких вычислений, возможных иногда только при применении ЭВМ. Чтобы упростить проектирование, выпущены справочники, содержащие таблицы для Ф. э. НЧ, нормализованных по частоте и сопротивлению. Путем преобразования частоты Ф. э. всех классов можно свести к эквивалентному Ф. э. НЧ. Для того чтобы преобразовать хар-ку Ф. э. ВЧ в низкочастотную, необходимо аргумент коэфф. передачи ω заменить на обратную величину $1/\nu$; при этом ф-ция от ν будет коэфф. передачи эквивалентного Ф. э. НЧ. Обратное преобразование элементов сводится к замене индуктивности L емкостью $C = 1/L$ (численно) и наоборот. Преобразование полосовой хар-ки производится с помощью подстановки $\nu = (\omega_0^2 - \omega^2)/\omega$, где $\omega_0 = \sqrt{\omega_{c_1}\omega_{c_2}}$, $\omega_{c_1} - \omega_{c_2} = \nu_c$; ω_{c_1} и ω_{c_2} — граничные частоты полосового фильтра; ν_c — граничная частота эквивалентного Ф. э. НЧ. При обратном преобразовании элементов к индуктивности L добавляется емкость C, так что образуется последоват. контур LC с резонансом на частоте ω_0, а к емкости — параллельная индуктивность, также создающая резонанс на частоте ω_0. Хар-ка заграждающего Ф. э. преобразуется подстановкой $\nu = \omega/(\omega_0^2 - \omega^2)$. При обратном преобразовании роли индуктивности и емкости меняются местами по сравнению с предыдущей трансформацией. Параметры Ф. э. НЧ можно нормализовать, приведя их к граничной частоте $\nu_c' = 1$ *рад/сек* заменой $\nu' = \nu/\nu_c$ и к характеристич. сопротивлению $Z_c' = 1$ *ом* заменой всех сопротивлений элементов Z_j по ф-ле $Z_j' = Z_j/Z_c$.

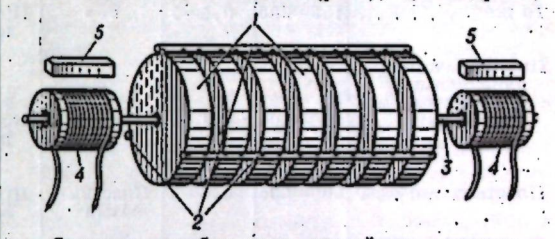
2) Аппарат для очистки пром. газов и вентиляции воздуха от содержащихся в них взвешенных частиц (пыли, дыма, туманов). См. *Электрофильтр*.

Лит.: Альбац М. Е., Справочник по расчету фильтров и линий задержки, М.—Л., 1963; Белецкий А. Ф., Синтез реактивных четырехполюсников и электрических фильтров, М., 1959 (Теоретические основы электропроводной связи, ч. 3); Босый Н. Д., Электрические фильтры, 4 изд., Киев, 1960; Моле Дж. Х., Расчет электрических фильтров для аппаратуры связи, пер. с англ., М.—Л., 1963; Собенин Я. А., Расчет полиномиальных фильтров, М., 1963; Cauer W., Synthesis of linear communication networks, 2 ed., v. 1—2, N. Y., 1958; Guillemin E. A., Synthesis of passive networks, N. Y., [1957].

М. Е. Альбац.

ФИЛЬТР ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЙ (electromechanical filter; filtre électromécanique; elektromechanisches Filter) — полосовой фильтр, в к-ром фильтрация электрич. сигнала осуществляется механич. колебат. системой, состоящей из механич. резонаторов, связанных между собой механич. элементами связи, и двух электромеханич. преобразователей для преобразования электрич. колебаний в механические на входе и обратного преобразования на выходе.

Параметры механич. резонаторов в Ф. э.: добротность 5—25 тыс. единиц (позволяет строить Ф. э. с относительно узкими полосами пропускания до 0,02%), температурный коэфф. частоты $(1-5)\cdot 10^{-6}$ (приближает Ф. э. в отношении температурной стабильности к *фильтрам кварцевым*). Коэфф. прямоугольности частотных хар-к Ф. э., определяемый как отношение полос пропускания на уровнях 0,001 и 0,5, лежит в пределах 1,3—2,5. Объем Ф. э. ок. 3—6 *см*³ для частоты 500 *кгц* и увеличивается с понижением рабочей частоты. Рабочая частота Ф. э. зависит от формы, размеров и вида колебаний резонаторов. Полоса пропускания частотной хар-ки определяется степенью механич. связи между резонаторами. Избират. св-ва Ф. э. зависят от количества резонаторов; неравномерность в полосе частотной хар-ки и коэфф. передачи определяются гл. обр. режимом работы электромеханич. преобразователей. Распространение получили Ф. э. с дисковыми (рис.), цилиндрич.,



Схематич. изображение устройства электромеханич. фильтра с дисковыми резонаторами.

пластинчатыми и камертонными резонаторами. Дисковые резонаторы *1* работают в режиме изгибных колебаний с одной (для частот 60—250 *кгц*) и с двумя (для частот 250—600 *кгц*) узловыми окружностями. Возможно увеличение количества узловых окружностей для работы на более высоких частотах. В качестве элементов связи между дисковыми резонаторами используются отрезки механич. линии *2*, работающей в режиме продольных колебаний при длине, равной восьмой части длины волны. Электромеханич. преобразователь выполнен в виде тонкой проволочки-иглы *3* из магнитострикц. материала, прикрепленной перпендикулярно к центру оконечного резонатора и вставленной внутрь катушки *4*. Для выбора оптим. рабочей точки преобразователь имеет пост. магнит *5*, создающий магнитное поле вдоль иглы преобразователя. При протекании перем. тока сигнала по катушке входного преобразователя в игле возбуждаются механич. продольные колебания за счет эффекта магнитострикции, к-рые передаются первому дисковому резонатору. Далее, пройдя всю колебат. систему, колебания достигают оконечного резонатора, от к-рого возбуждается игла выходного преобразователя. В катушке, в к-рую эта игла помещена, за счет обратного эффекта магнитострикции наводится эдс отфильтрованного сигнала. Для повышения эффективности преобразователей каждая игла при продольных колебаниях настраивается в резонанс на среднюю частоту полосы пропускания Ф. э. Катушки преобразователей при подключении к электрич. схеме образуют электрич. контуры, к-рые тоже настраиваются на среднюю частоту полосы пропускания. В табл. приведены осн. данные, характеризующие колебат. системы различных типов Ф. э.

Для включения Ф. э. в электрич. схему рекомендуется параллельное питание лампи или транзисторов, т. к. протекание пост. тока по катушкам вызывает изменение пост. магнитного поля преобразователей, что может привести к существ. ухудшению неравномерности частотной хар-ки Ф. э. Осн. направления совершенствования Ф. э.: расширение диапазона

Ориентировочные данные для различных колебательных систем электромеханич. фильтров

Тип колебат. системы	Рабочие частоты (*кгц*)	Полоса пропускания (%)	Тип резонатора	Вид колебаний в резонаторах	Вид колебаний в связках	Тип преобразователя	Механич. элемент преобразователя
Дисковая	60—600	0,05—5	Дисковый	Изгибные	Продольные	Магнитострикционный	Игольчатый
Осевая цилиндрическая	100—500	0,1—5	Цилиндрический	Крутильные	Крутильные	То же	Игольчатый продольных колебаний или ферритовый крутильных колебаний
То же	150—600	0,5—5	» »	Продольные	Продольные	» »	Ферритовый продольных колебаний
Цилиндрическая с параллельным расположением резонаторов . .	100—400	0,1—5	» »	Крутильные	То же	» »	Продольных колебаний с ферритовым или металлическим резонатором
Пластинчатая . . .	300—600	0,5—5	Пластинчатый	Продольные	» »	» »	Пластинка из магнитострикционного сплава
Гантельная	20—100	—	Гантельный	Крутильные	Крутильные или продольные	—	—
Камертонная . . .	1—10	—	Камертонный	Изгибные	—	Электромагнитный	Камертон

рабочих частот до 10—15 *Мгц* и улучшение температурной стабильности путем применения вновь разрабатываемых сплавов с близкой к нулю стабильностью.

Лит.: Б о с ы й Н. Д., Электрические фильтры, 4 изд., Киев, 1960; Б р о н н и к о в А. А., Электромеханические фильтры с прямоугольными пластинчатыми резонаторами, «Радиотехническое производство», 1957, № 11; Вопросы теории электромеханических цепочечных фильтров, в кн.: Труды Рижск. ин-та инж. гражд. возд. флота им. Ленинского комсомола, вып. 26, Рига, 1963.

А. Л. Иржавский, Л. А. Хатунцев.

ФИЛЬТРАЦИЯ в автоматике, радиотехнике (filtering; filtration; Siebung) — в общем случае всякое инерционное преобразование сигнала $x(t)$. Результат Ф. — сигнал $y(t)$ — может быть определен заданием либо функционала $L_t[x(\tau)]$, к-рый для всякой реализации $x(\tau)$ и для каждого момента времени t находит величину $y(t)$ как

$$y(t)=L_t[x(\tau)], \qquad (1)$$

либо заданием дифференц. ур-ния, преобразующего $x(t)$ в $y(t)$, т. е.

$$\frac{d^n y}{dt^n}=f\left(t,\ x,\ \frac{dx}{dt},\ \ldots,\ \frac{d^{n-1}x}{dt^{n-1}},\ y,\ \frac{dy}{dt},\ \ldots,\ \frac{d^{n-1}y}{dt^{n-1}}\right), \qquad (2)$$

где f — заданная ф-ция, $n=1,2,\ldots$

Если при всех t функционал (1) зависит только от реализации $x(\tau)$на интервале времени до момента t, то операции Ф. (1) могут быть выполнены в реальном времени с помощью физически реализуемого фильтра. Операции Ф., определяемые ур-нием (2), всегда физически реализуемы, если заданы нач. условия в некрый момент $t=t_0$. В случае, когда функционал (1) зависит от реализации $x(\tau)$ только на интервале $(t-T,\ t)$, где $T>0$, то фильтр наз. фильтром с конечной памятью T. Если функционал (1) зависит только от последовательности дискретных значений $x_i=x(t_i)$ $(i=-\infty,\ldots,-1,\ 0,\ 1,\ \ldots,\ n,\ t_n\leqslant t)$, то фильтр наз. дискретным. Ур-ние (2) заменяется при этом разностным ур-нием или рекурентным соотношением.

Фильтр наз. устойчивым, если для всякого ограниченного входного сигнала $x(t)$ значение $y(t)$ из (1) и (2) ограничено при всех t.

Важным частным случаем является линейная Ф. При этом ур-ние (2) линейно относительно всех аргументов, кроме t, а функционал (1) имеет вид:

$$y(t)=\int_{t_0}^{t} k(t,\ \tau)\,x(\tau)\,d\tau, \qquad (3)$$

где t_0 — момент начала реализации $x(t)$, $k(t,\tau)$ — импульсная реакция, т. е. отклик фильтра в момент t на сигнал в виде δ-функции, поданный в момент τ. Для физически реализуемых фильтров $k(t,\tau)=0$ при $t<\tau$, а для фильтров с конечной памятью, кроме того, $k(t,\tau)=0$ при $\tau<t-T$. Стационарное значение выхода фильтра получается при $t_0\to-\infty$. Это значение соответствует достаточно большой по сравнению с инерционностью фильтра продолжительности наблюдения сигнала $x(t)$. Для фильтров с пост. параметрами $k(t,\tau)=k(t-\tau)$ и в случае их устойчивости

$$y(t)=\int_{t_0}^{t} k(t-\tau)\,x(\tau)\,d\tau \xrightarrow[t_0\to-\infty]{} \longrightarrow \int_{0}^{\infty} k(\tau)\,x(t-\tau)\,d\tau. \qquad (4)$$

Такие фильтры всегда могут быть реализованы с помощью набора *RC*- и *LRC*-звеньев. Хар-кой фильтра с пост. параметрами является ф-ция передачи $K(p)$, определяемая как преобразование Лапласа от импульсной реакции $k(t)$, т. е.

$$K(p)=\int_{0}^{\infty} k(t)\,e^{-pt}dt. \qquad (5)$$

Для устойчивых фильтров $K(p)$ не имеет полюсов в правой полуплоскости комплексной переменной p. Значение $K(p)$ при $p=j\omega$ наз. частотной хар-кой фильтра. Фильтр, для к-рого $K(p)=K_1(p)/p^n$ и $K_1(0)=C\neq 0$, наз. фильтром с астатизмом n-го порядка.

Наиболее распространенным примером фильтров с перем. параметрами является случай, когда $k(t,\tau)=\sum_{i,\ j=1}^{m} f_i(t)k_{ij}(t-\tau)\varphi_j(\tau)$. При этом Ф. выполняется путем умножения сигнала $x(t)$ на ф-ции $\varphi_j(t)$, пропускания полученных произведений через фильтры с импульсными реакциями $k_{ij}(t-\tau)$, последующего умножения на $f_i(t)$ и суммирования по всем $i,\ j$.

Важный пример линейных фильтров—замкнутые линейные системы с обратной связью (рис.), где *1* — фильтр с импульсной реакцией $k_1(t,\tau)$, *2* — фильтр с импульсной реакцией $k_2(t,\tau)$. Импульсная реакция $k(t,\tau)$ замкнутой системы определяется ур-нием:

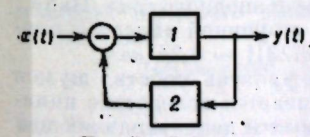
$$k(t,\ \tau)+\int_{\tau}^{t} k_1(t,\ s_1)\int_{\tau}^{s_1} k_2(s_1,\ s_2)\,k(s_2,\ \tau)\,ds_2 ds_1=k_1(t,\ \tau). \qquad (6)$$

Для фильтров с пост. параметрами $K(p)=K_1(p)/[1+K_1(p)K_2(p)]$.

Примером нелинейного фильтра, распространенного в САР, радиотехнике, радиолокации, является сочетание: линейный фильтр — безынерционный нелинейный элемент —линейный фильтр. При этом функционал (1) можно предетавить в виде:

$$y(t)=\sum_{i=1}^{m}\int_{t_0}^{t} k_i(t,\ \tau)\times f_i\left(\int_{t_0}^{\tau} h_i(\tau,\ s)\,x(s)\,ds\right)d\tau, \qquad (7)$$

где $h_i(t,\ \tau)$, $k_i(t,\ \tau)$ — нек-рые импульсные реакции, $f_i(z)$ — нелинейные ф-ции, напр. $f_i(z)=|z|$, $f_i(z)=z^2$ и т. д. Более сложным нелинейным фильтром является система, приведенная на рис., с включенным в к.-л. точке замкнутой петли безынерц. нелинейным элементом. Еще один пример — система АРУ, описываемая дифференц. ур-нием:



Линейный фильтр.

$$a_n\frac{d^n y}{dt^n}+\ldots+a_1\frac{dy}{dt}+a_0 y=f(y)\,x(t), \qquad (8)$$

где $f(y)$ — положит. ограниченная монотонно убывающая функция y (см. также *Фильтр оптимальный*).

В. Г. Репин.

ФЛУКТУАЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ В ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ (fluctuation processes in electronic devices; régimes fluctuants dans les appareils électroniques; Schwankungen in elektronischen Geräten) — беспорядочные отклонения физ. величин, характеризующих работу электровакуумных или ПП приборов (сила тока, разность потенциалов, фаза, частота и т. д.), от их ср. значений. Флуктуац. колебания (или *шумы*) имеют физ. природу и неизбежны во всех электрич. и механич. системах, в различных электронных и ионных приборах. Матем. анализ их производится методами теории вероятности.

Ф. п. в э. п. обусловливают существование нижнего предела хар-к, к-рые еще могут быть измерены, или сигналов, к-рые еще могут быть усилены.

1. В электронных лампах, даже при пост. напряжениях на электродах, ток анода не остается пост. величиной, а беспорядочно изменяется, колеблясь около своего ср. значения: $i_a=I_a+\delta i_a$, где δi_a — флуктуации тока анода, I_a — постоянная составляющая тока анода (ср. значение). Основная причина флуктуаций тока анода: неравномерность во времени выхода электронов с поверхности катода — т. н. дробовой эффект. Последний вызывается тем, что с поверхности накаленного катода могут выйти в вакуум только те электроны, к-рые обладают энергией, превышающей *работу выхода*, и скорости к-рых в данный момент времени направлены из катода в вакуум. Т. к. количество таких электронов в каждый отдельный момент времени различно, то ток эмиссии катода пульсирует около своего ср. значения. В режиме насыщения все электроны, выходящие из катода, двигаются на анод, куда приходят также неравномерно, воспроизводя в анодном токе колебания тока эмиссии.

Ниже приводятся величины, характеризующие Ф. п. в э. п. (лампах).

Эффективное значение шумового тока, обусловленного флуктуациями эмиссии, служит параметром электронной лампы и вычисляется по ф-ле $I_{ш}^2=2eI_a\Delta f$, где e — заряд электрона, Δf — полоса частот, в к-рой действуют шумы. При наличии пространств. заряда, т. е. когда напряжение на аноде недостаточно для получения режима насыщения, около катода образуется облако электронов (потерявших свою начальную скорость) вследствие возникновения минимума потенциала, флуктуации анодного тока уменьшаются. Неравномерно вылетающие из катода электроны, теряя свою скорость, вступают в это облако, откуда двигаются к аноду уже более равномерным (во времени) потоком. Чем сильнее проявляется тормозящее действие пространств. заряда, тем меньше сказываются флуктуации тока эмиссии на величине анодного тока. Эффективное значение шумового тока в этом случае может быть вычислено по ф-ле:

$$I_{ш}^2=2eI_aF^2\Delta f, \qquad (1)$$

где $F=\sqrt{1{,}25\frac{kT_к^0}{e}\frac{S_0}{I_a}}$ — коэфф. ослабления дробового шума при наличии пространств. заряда, k — постоянная Больцмана; $T_к^0$ — темп-ра катода; S_0 — средняя крутизна диода. Причины флуктуаций анодного тока в электронных лампах: дробовой эффект, появление положит. ионов при несовершенном вакууме в лампе и собств. (тепловые) движения электронов в пространств. заряде. Последние 2 причины учитываются множителем $q=1-2$: $I_{ш}^2=2eI_aF^2q^2\Delta f$. В лампах с сетками шумы возникают под действием тех же причин, что и в диоде, но, кроме того, ток флуктуаций в лампах с положительно заряж. сетками возрастает из-за неравномерностей

во времени вторичной электронной эмиссии и токораспределения между электродами. Шумовые токи анода и второй сетки при наличии токораспределения между ними соответственно равны:

$$I^2_{ша}=2eI_aF^2_a\Delta f;\quad F^2_a=\frac{F^2_к I_a+I_{c_2}}{I_a+I_{c_2}};$$

$$I^2_{шc_2}=2eI_aF^2_{c_2}\Delta f;\quad F^2_{c_2}=\frac{F_к I_{c_2}+I_a}{I_a+I_{c_2}}. \qquad (2)$$

Здесь F_a и F_{c_2} — коэфф. ослабления дробового шума при наличии пространств. заряда, осложненного токораспределением; $F_к$ — коэфф. ослабления дробового шума при наличии пространств. заряда и отсутствии токораспределения.

Одновременно с шумом, создаваемым дробовым эффектом, в лампах наблюдаются шумы при мерцании катода. Это явление заключается в том, что у накаленного катода неравномерно изменяется эмиссионная способность отдельных участков его поверхности вследствие неравномерного изменения активности эмиттирующего слоя. Поэтому величина тока эмиссии с таких участков, а следовательно, и величина тока катода непрерывно будут колебаться. Опыт показывает, что эти колебания происходят с НЧ (диапазон звуковых частот). Несовершенство вакуума в лампе также увеличивает шум на НЧ, т. к. получающиеся в процессе ионизации газа положит. ионы частично нейтрализуют пространств. заряд, вследствие чего флуктуация анодного тока увеличивается. Если ток положит. ионов не превышает неск. сотых долей *мка*, то увеличения шума практически не наблюдается. Неравномерность самой ионизации — добавочный фактор повышения уровня шумов. Для количеств. оценки уровня собств. шумов в лампах с сетками пользуются не шумовым током, а более сложными параметрами, вводимыми путем пересчета шумов из анодной цепи в цепь управляющей сетки.

Эквивалентное напряжение шума на сетке $U_{сш}$, определяемое как генератор шумовой эдс, при включении его в цепь управляющей сетки лампы, к-рую считают идеальной (не шумящей), вызывает в ее анодной цепи ток, аналогичный току флуктуаций, обусловленному перечисл. выше причинами. Квадрат эквивалентного напряжения шума

$$U^2_{сш}=2eI_aF^2\frac{q^2}{S^2}\Delta f, \qquad (3)$$

где S — крутизна хар-ки лампы.

Удельное эквивалентное напряжение шума на сетке, отнесенное к полосе частот $\Delta f=1$ *гц*

$$U'_{сш}=U_{сш}/\sqrt{\Delta f}=Fq\sqrt{2eI_a}/S. \qquad (4)$$

Эквивалентное сопротивление внутриламповых шумов определяется из условия: при включении в цепь управляющей сетки идеальной лампы своим флуктуац. напряжением оно создает в анодной цепи ток флуктуаций такой же, какой создается в лампе как следствие ее физ. св-в. На практике часто пользуются след. приближенным выражением для эквивалентных сопротивлений шумов:

в триоде $R_ш=2{,}5/S$,

в пентоде $R_ш=\frac{I_a}{I_a+I_{c_2}}\left(\frac{2{,}5}{S}+\frac{20\,I_{c_2}}{S^2}\right)$. (5)

Триоды в миниатюрном и сверхминиатюрном оформлениях имеют $R_ш$ от 100 до 700 ом, пентоды — от 240 *ом* до 13 *ком*. В таблице приводятся значения $R_ш$ нек-рых типов электронных ламп при типовом режиме.

Тип лампы	$R_ш$ (*ком*)	Тип лампы	$R_ш$ (*ком*)
6С2Б	0,4	1Ж29Б	$\leqslant$7,0
6С3П	0,2	6Ж1Б	$\leqslant$4,0
6С15П	0,1	6Ж1П	$\leqslant$3,7
1Ж24Б	$\leqslant$6,0		

Электронные приборы, основанные на использовании *вторичной эмиссии*, имеют иной тип шума, наз. обычно шумом вторичной эмиссии. Если бы каждый первичный электрон создавал точно σ вторичных электронов, вторичная эмиссия не вызывала бы дополнит. шума. Однако число эмиттируемых вторичных электронов флуктуирует. Это и обусловливает появление нового типа шума. Если первичный ток электронов создает ток I_a, то шумовой ток в режиме насыщения

$$I^2_{шн}=2eI_a\Delta f. \qquad (6)$$

Предположим, что каждый первичный электрон эмиттирует σ вторичных электронов, тогда

$$I^2_{швт}=2eI_a\sigma^2\Delta f. \qquad (7)$$

Общий шум, обусловленный первичным и вторичным потоками,

$$I^2_{ша}=2eI_a\sigma(1+\sigma). \qquad (8)$$

Для триода со вторичной эмиссией эквивалентное сопротивление шумов

$$R_ш=R_{штр}\sigma(1+1/F^2\sigma), \qquad (9)$$

$R_{штр}$ — эквивалентное сопротивление шумов триода в отсутствие вторичной эмиссии. Полагая $\sigma=3$ и $F^2=0{,}1$, получим $R_ш=12\,R_{штр}$. На практике лампы со вторичной эмиссией шумят в 8—10 раз больше, чем обычные лампы с такой же крутизной хар-ки анодного тока. Напр., лампа типа 6В1П со вторичной эмиссией имеет $R_ш=1{,}8$ *ком*, а 6Ж23П — 0,24 *ком*.

В диапазоне СВЧ уровень собств. шумов усилит. ламп увеличивается вследствие появления токов, наводимых в цепи управляющей сетки. Флуктуации конвекц. тока, проходящего в лампе, вызывают флуктуации и в наведенном сеточном токе, к-рый, проходя через контур или сопротивление, включенное в цепь сетки, создает на нем перем. напряжение флуктуации. Это напряжение усиливается лампой, и в анодной цепи появляются дополнит. шумы. Величина флуктуац. тока в сеточной цепи зависит от активной входной проводимости, создающейся из-за инерции электронов, и может быть описана ф-лой:

$$I^2_{шт}=4k(5T)g_{вх.т}\Delta f, \qquad (10)$$

где $g_{вх.т}$ — входная активная проводимость лампы, обусловленная инерцией электронов. В диапазоне СВЧ шумы ламп оцениваются коэфф. шума (см. *Шумфактор*). Так, лампа типа 6С17К на частоте 3000 *Мгц* имеет коэфф. шума, равный 15 *дб*. Для создания усилителей СВЧ, обладающих малым коэфф. шума, используются *лампы бегущей волны* (ЛБВ).

Шумы в них вызываются флуктуациями тока в электронном пучке вследствие флуктуации эмиссии с катода. Эти шумы, возбуждая колебания в замедляющей системе, усиливаются и создают шумы на выходе лампы. Шумы в ЛБВ определяются гл. обр. процессами в области минимума потенциала вблизи катода и зависят от конструкции электронной пушки и режима ее работы. Коэфф. шума различных типов ЛБВ находятся в пределах от 30 до 3 *дб*.

Внутриламповые шумы снижают реальную чувствительность радиоприемных устройств, к-рая определяется миним. эдс на входе радиоприемного устройства, при к-рой получается не только нормальная мощность на выходе, но и определ. превышение уровня сигнала, наз. уровнем собств. шумов.

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960; Бергельсон И. Г. [и др.], Приемно-усилительные лампы повышенной надежности. Справочник, М., 1962; Зил А. ван дер [Ван-дер-Зил А.], Флуктуации в радиотехнике и физике, пер. с англ., М.—Л., 1958.

В. М. Петухов.

2. Представления о природе флуктуаций тока и напряжения в полупроводниках позволяют исследовать нек-рые физ. явления (напр., излучение фликкер-шума дает возможность оценить качество обработки поверхности кристалла в ПП приборах), а также определить ряд параметров ПП материалов и приборов.

Классификация шумов в ПП материалах и приборах:

а) Генерационно-рекомбинационный шум, обусловленный спонтанными флуктуациями скорости генерации, скорости рекомбинации, прилипания носителей заряда и др., что приводит к флуктуации плотности свободных носителей заряда. В ПП материалах это понятие гораздо точнее отражает их св-во, нежели понятие «дробовой шум». В то же время в ПП приборах, содержащих электронно-дырочные переходы, генерационно-рекомбинац. шум превращается в обычный дробовой шум. Для простой модели ПП материала с одним типом центров рекомбинации теоретич. анализ дает след. зависимость спектральной плотности среднего квадрата шумового тока через образец ПП от частоты:

$$\{i^2\}_f=\text{const}\cdot\frac{I}{1+(\omega\tau_1)^2}, \qquad (11)$$

где I — величина пост. тока, протекающего через образец, ω — круговая частота, τ_1 — время релаксации (величина, как правило, близкая к времени жизни неосновных носителей заряда в ПП). Учет неск. типов центров рекомбинации дает более сложную зависимость.

б) Диффузионный шум, обусловленный случайным характером процесса диффузии. Флуктуации процесса диффузии приводят к возникновению локальных флуктуаций плотности носителей заряда. В ПП материалах этот процесс служит причиной тепловых шумов, в ПП приборах с электронно-дырочными переходами — дробового шума.

в) Модуляционный шум, обусловленный флуктуациями плотности носителей заряда или флуктуациями тока, возникающими вследствие модуляц. процессов.

В отличие от перечисл. понятий, описывающих конкретные механизмы возникновения флуктуаций, понятие «фликкер-шума» в ПП (так же как и в электронных лампах) связано лишь с его своеобразной спектральной плотностью:

$$\{i^2\}=\frac{\text{const}}{f^\alpha}, \qquad (12)$$

где $\alpha\simeq1$.

Теория фликкер-шума в ПП разработана лишь в общих чертах. Как правило, шум типа $1/f$ наблюдается в диапазоне частот от самых низких до 10 *кгц*. Многочисл. эксперименты показывают сильную зависимость фликкер-шума от состояния поверхности ПП и окружающей среды. Представления о природе фликкер-шума в ПП связывают с существованием поверхностных ловушек. Захват носителей заряда ловушками вызывает изменение числа свободных носителей заряда в образце ПП. Изменение заполнения поверхностных ловушек влияет на скорость генерации неосновных носителей заряда в объеме ПП вблизи поверхности.

Флуктуац. процессы также имеют место в ПП приборах, не содержащих p — n-переходов: термисторах, фотосопротивлениях, приборах на эффекте Холла и т. д.

Для идеализированной одномерной модели ПП *диода* с p—n-переходом можно выделить 2 основные составляющие шума: а) дробовой шум в электронно-дырочном переходе, описываемый эквивалентным генератором шумового тока, спектральная плотность к-рого

$$\{i^2\}=4kTG-2qI, \qquad (13)$$

где k — постоянная Больцмана, T — темп-ра, G — действит. составляющая полной проводимости перехода на частоте f, q — заряд электрона, I — пост. ток, положительный для прямых и отрицательный для обратных смещений (эквивалентный шумовой генератор включается в эквивалентной схеме диода параллельно проводимости перехода); б) тепловой шум последоват. сопротивления диода. Эта составляющая описывается в первом приближении обычным ур-нием для теплового шума:

$$\{E^2_ш\}=4kTR_s, \qquad (14)$$

где $\{E^2_ш\}$ — спектральная плотность среднего квадрата шумового напряжения эквивалентного генератора, R_s — последоват. сопротивление диода (эквивалентный генератор шумового напряжения включается в эквивалентной схеме последовательно с сопротивлением R_s). Существуют также модуляц. составляющие шумов диода, связанные, в частности, с модуляцией последоват. сопротивления шумовым током; однако они, как правило, пренебрежимо малы.

Кроме перечисл. источников шума на НЧ, определяющую роль играет фликкер-шум, особенно для обратно смещенных переходов. Ряд новых флуктуац. процессов обнаруживается на лавинном участке хар-ки p—n-перехода. Своеобразный флуктуац. процесс имеет место в кремниевых p—n-переходах с микроплазмами. При этом шум проявляется в виде хаотически повторяющихся треугольных импульсов напряжения либо прямоугольных импульсов тока. Наибольшее практич. значение имеют шумы в тех типах диодов, к-рые используются во входных цепях радиоприемных устройств.

Уровень флуктуаций в кристаллич. детекторе (см. *Диод СВЧ*) характеризуют относит. темп-рой шумов, отношением мощности шума детектора к мощности теплового шума в той же

полосе частот идеального сопротивления, равного выходному сопротивлению детектора при комнатной темп-ре (типичные значения: 1—3). Видеодетекторы, предназнач. для работы в СВЧ приемниках прямого усиления, характеризуют параметром «добротность», определяющим чувствительность видеодетектора в приемнике:

$$\mu = \frac{\beta R}{\sqrt{Rt_{ш} + R_{ш}}}, \qquad (15)$$

где β — чувствительность по току, R — сопротивление в рабочей точке, $t_{ш}$ — относит. темп-ра шума, $R_{ш}$ — эквивалентное шумовое сопротивление (принимается равным 1000 *ом*) видеоусилителя (значения добротности: 10—50). Для хар-ки чувствительности смесит. детектора при работе его с усилителем промежуточной частоты (ПЧ) служит нормированный коэфф. шума

$$N = L(t_{ш} + F_{упч} - 1), \qquad (16)$$

где L — потери преобразования детектора, $F_{упч}$ — коэффициент шума усилителя ПЧ (N=10—20 *дб* в сантиметровом диапазоне волн).

Диоды параметрические используются в схемах наиболее малошумящих усилителей в дециметровом и сантиметровом диапазонах длин волн. При оценке качества таких диодов уровень их собств. шумов играет определяющую роль. Параметрич. диоды обычно работают при запирающем напряжении. При этом основная составляющая их шумов связана с тепловыми шумами последоват. сопротивления диода. Дробовые шумы обратного тока дают обычно малый вклад в собств. шумы диода. Миним. шумфактор, к-рый может быть получен с диода в одноконтурном параметрич. усилителе,

$$F = \frac{1}{1 - 2\frac{\omega r_s C}{m}}, \qquad (17)$$

где r_s — последоват. сопротивление диода, C — емкость перехода диода, m — коэфф. модуляции емкости диода (0,1—0,5). Для хар-ки шумовых св-в параметрич. диода служат параметры: постоянная времени $\tau_s = r_s C$ при фиксированном напряжении смещения [(0,5—5) 10^{-12} сек.]; критич. частота

$$f_{кр} = \frac{m}{2}\frac{1}{2\pi r_s C} \qquad (18)$$

или предельная частота

$$f_{пр} = \frac{1}{2\pi r_s C_{миним}}, \qquad (19)$$

где $C_{миним}$ — миним. емкость диода, получаемая при приложении максимально допустимого напряжения. Реальные шумфакторы, к-рые можно получить на ПП параметрич. усилителях в диапазоне сантиметровых волн, составляют 2—5 *дб*. При понижении частоты, а также при охлаждении диода, например, до температуры жидкого азота, шумфактор $\geqslant$0,5 *дб*.

В качестве малошумящего ВЧ усилителя может быть применен *диод туннельный*, имеющий участок с отрицат. сопротивлением, что позволяет осуществлять с его помощью регенеративные СВЧ усилители. Собств. шумы туннельного диода на участке падающей хар-ки определяются в основном дробовыми шумами туннельного тока и тепловыми шумами последоват. сопротивления.

Приближенное выражение для шумфактора туннельного диода в усилителе:

$$F = \frac{1 + \frac{qIR}{2kT}}{\left(1 - \frac{r_s}{R}\right)\left[1 - \left(\frac{f}{f_{пр}}\right)^2\right]}, \qquad (2$$

где I — ток диода в рабочей точке, R — отрицат. сопротивление в рабочей точке, $f_{пр} = \frac{1}{2\pi RC}\sqrt{\frac{R}{r_s} - 1}$ — предельная частота диода.

Параметры, характеризующие шумовые св-ва туннельного диода: а) шумовая постоянная

$$\xi = \frac{qI_0R_0}{2kT}, \qquad (2$$

где $I_0 = \frac{I_{макс}}{2}$ — половина тока в максимуме вольтамперной хар-ки, R_0 — отрицат. сопротивление при I_0; б) предельная частота диода $f_{пр}$. Шумфактор германиевых усилит. туннельных диодов на сантиметровых волнах $F \simeq 4$—8 *дб*. О флуктуац. процессах в транзисторах см. *Транзистора шумы*.

Лит.: Полупроводники в науке и технике, т. 1, М.—Л., 1958; Ван-дер-Зил А., Флуктуационные явления в полупроводниках, пер. с англ., М., 1[illegible]; Кристаллические детекторы, пер. с англ., [ч.] 1, 2, М., 1950.

В. Л. Арен

ФЛУКТУАЦИЯ (fluctuation; fluctuation; Fluktuation, Schwankung) — случайное отклонение к.-л. величины от ее ср. значения. Ф. подвержены величины самой разнообразной природы: физические (плотность, давление, темп-ра, световой поток, ток, напряжение и др.), биологические (напр., вес и размеры особи данного вида), социально-экономические и др.

Величина, испытывающая Ф., является случайной величиной, а изменение Ф. во времени есть *вероятностный процесс*. Полное количеств. описание Ф. дает последовательность многомерных ф-ций распределения этого вероятностного процесса. Однако часто бывают достаточными значительно более простые хар-ки Ф. Простейшая мера Ф. случайной величины — дисперсия σ^2 (второй центральный момент). Для непрерывной случайной величины ξ, имеющей плотность распределения $w(x)$,

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} (x-a)^2 w(x)\, dx = \mathrm{M}(\xi - a)^2$$

(где M — знак матем. ожидания), $a = \mathrm{M}(\xi)$ — ср. значение ξ. Для дискретной случайной величины $\sigma^2 = \sum_i (x_i - a)^2 p(x_i) = \mathrm{M}(\xi - a)^2$, где $p(x_i)$ — вероятность значения x_i. Наряду с дисперсией употребляют стандартное отклонение $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$, называемое также эффективным значением или эффективной амплитудой Ф.

Простейшей хар-кой временного изменения Ф. служит корреляционная функция

$$R(t_1, t_2) = \mathrm{M}\{[\xi(t_1) - a(t_1)][\xi(t_2) - a(t_2)]\};$$
$$R(t_1, t_1) = \sigma^2(t_1).$$

Для Ф., являющихся стационарными вероятностными процессами, $R(t_1, t_2) = R(\tau)$, где $\tau = t_1 - t_2$. При $\tau = 0$ получим: $\sigma^2(0) = \sigma^2 = \text{const}$. Для нормальных (т. е. имеющих гауссовское распределение вероятностей) случайных величин и процессов, а таковыми является большинство физ. и др. величин, описание с помощью ф-ции корреляции исчерпывающее.

Наряду с ф-цией корреляции используется *спектр энергетический* (спектр. плотность) $S(f)$:

$$S(f) = \int_{-\infty}^{\infty} R(\tau) e^{-i2\pi f}\, d\tau,$$

где f — частота (*гц*). Дисперсия и спектральная плотность связаны ур-нием:

$$\sigma^2 = \int_{-\infty}^{\infty} S(f)\, df.$$

Ф. физ. величин имеют двоякую природу: термодинамич. Ф. и квантовые Ф. Термодинамич. Ф. — это Ф. макроскопич. величин (давление, плотность, энергия, концентрация, ток и т. д.), представляющих собой результат усреднения хаотич. теплового движения отдельных частиц тела. Пусть, напр., объем, занимаемый газом, и его темп-ра постоянны. Давление газа на мембрану манометра складывается из ударов о мембрану отдельных молекул, находящихся в тепловом движении. Показание прибора — «постоянное» давление — есть результат усреднения огромного числа ударов. Если число усредняемых ударов будет уменьшаться (вследствие уменьшения концентрации газа и уменьшения инерционности прибора), то достаточно чувствит. прибор зарегистрирует Ф.: давление не будет постоянным, а будет колебаться вокруг ср. значения. Распределение вероятностей различных значений давления — нормальное (гауссово). Такое же распределение имеют Ф. плотности, темп-ры и многих др. величин.

Квантовые Ф. обусловлены квантовой природой материи (в частности, принципом неопределенности), вследствие к-рой процесс измерения носит принципиально вероятностный характер. Если f — характерная частота изменения физ. величины вследствие Ф., то термодинамич. Ф. преобладают при условии

$$kT \gg hf$$

($k = 1{,}38 \cdot 10^{-16}$ *эрг/град* — постоянная Больцмана, $h = 6{,}624 \cdot 10^{-27}$ *эрг·сек* — постоянная Планка, T — темп-ра по шкале Кельвина). При обратном условии ($kT \ll hf$) преобладают квантовые Ф.

В электронных приборах известен т. н. дробовой эффект — Ф. тока эмиссии (термо- или фотоэмиссии, вторичной эмиссии). Число испускаемых электронов — случайная величина, подчиняющаяся закону Пуассона: $p(N)$ — вероятность вылета за время Δt точно N электронов, равна $p(N) = \frac{(\nu\Delta t)^N}{N!} e^{-\nu\Delta t}$.

Здесь ν — ср. скорость испускания электронов в единицу времени: $\nu = \bar{I}/e$, где $\bar{I}$ — ср. ток эмиссии, e — заряд электрона.

$$\bar{N} = \nu\Delta t, \quad \sigma_N^2 = \sum (N - \bar{N})^2 p(N) = \nu\Delta t.$$

Эффективное значение Ф. тока эмиссии

$$\Delta I = \frac{\sigma_N e}{\Delta t} = \frac{e\sqrt{\nu}}{\sqrt{\Delta t}} = \sqrt{\frac{e\bar{I}}{\Delta t}}.$$

Относит. величина Ф. тока эмиссии равна $\Delta I/\bar{I} = \sqrt{e/\Delta t\bar{I}}$. Т. о., Ф. сказывается тем меньше, чем больше ср. ток и чем больше время усреднения. Время усреднения по порядку величины обратно полосе частот: $\Delta t \simeq 1/\Delta f$.

В нагретом проводнике вследствие теплового движения электронов создаются случайные неоднородности зарядов, что приводит к появлению случайных токов и напряжений. Случайное напряжение на концах проводника — гауссовый случайный процесс. Дисперсия σ_u^2 Ф. напряжения на концах проводника зависит от его сопротивления и ширины полосы частот, в к-рой Ф. измеряются, и равна

$$\sigma_u^2 = 4kTR(f)\,\Delta f = S_u(f)\,\Delta f, \qquad (1)$$

где k — постоянная Больцмана; T — абс. темп-ра; $R(f)$ — сопротивление, зависящее от частоты; Δf — ширина полосы частот; $S_u(f)$ — спектральная плотность Ф. напряжения. Выражение (1) наз. ф-лой Найквиста.

Ширину полосы Δf предполагают столь малой, что $S_u(f)$ можно считать постоянной внутри этой полосы. В противном случае

$$\sigma_u^2 = \int_{\Delta f} S_u(f)\, df.$$

Если проводник имеет комплексное сопротивление $Z(f) = R(f) + iX(f)$, то спектр. плотность Ф. напряжения по-прежнему равна $S_u(f) = 4kTR(f)$, т. к. тепловые шумы порождаются только активным сопротивлением.

Если источник сигнала имеет внутр. сопротивление R, то макс. мощность он отдает в нагрузку с сопротивлением $R_u = R$. За счет флуктуац. напряжения в этой нагрузке выделяется мощность $\sigma_ш^2$

$$\sigma_ш^2 = \frac{\sigma_u^2}{4R} = kT\Delta f.$$

Эта ф-ла выражает известный термодинамич. принцип равномерного распределения энергии по степеням свободы. Согласно положениям термодинамики, на степень свободы приходится тепловая энергия $kT/2$. В полосе частот Δf имеется $2\Delta f$ степеней свободы, откуда следует $\sigma_ш^2 = kT\Delta f$.

Ф-ла (1) описывает термодинамические (классические) Ф. На высоких частотах (при $hf > kT$) сказываются квантовые эффекты, и принцип равнораспределения не имеет места. В этом случае ф-ла (1) заменяется обобщенной ф-лой Найквиста:

$$\sigma_u^2 = 2hfR(f)\,\mathrm{cth}\,\frac{hf}{2kT}\,\Delta f, \qquad (2)$$

в к-рой учтена энергия $hf/2$ «нулевых» квантовых Ф. Кроме того, на высоких частотах проводник уже не может рассматриваться как цепь с сосредоточ. параметрами. Для радиочастот, однако, ф-ла (1) всегда применима.

Изучение Ф. имеет большое практич. значение. Ф. обусловливают порог точности измерений. Напр., в системе телеизмерений точность измерит. прибора не может быть выше эффективного значения измеряемой величины. Чтобы обнаружить нек-рый слабый сигнал, необходимо, чтобы энергия сигнала в приемнике была бы больше энергии Ф. на входе приемника. Эти Ф., называемые *шумом*, складываются из шумов антенны, входных цепей и первых усилит. каскадов (в последних осн. источник шума — дробовой эффект).

В параметрических и квантовых усилителях единств. источником входных шумов являются тепловые Ф. Поэтому шум таких усилителей принято выражать посредством эквивалентной темп-ры так, что если $T_{кв} = 30°$ К, то

мощность шума равна $\Delta f \cdot 1{,}38 \cdot 10^{-23} \cdot 30 \approx \approx 4 \cdot 10^{-22} \Delta f$ (*вт*).

Ф. в канале передачи информации (шумы, помехи) принципиально ограничивают *пропускную способность канала* передачи. В случае канала с аддитивной помехой (белый шум) $C = \Delta f \log\left(1 + \frac{P_c}{N_0 \Delta f}\right)$, где N_0 — спектр. плотность помехи, P_c — мощность сигнала. Отсюда следует, что миним. энергия, к-рую должен получить приемник, чтобы принять одну двоичную единицу информации, равна: $E = P_c/C = N_0 \ln 2$ или, в случае наличия только тепловых Ф., $E = kT \ln 2$.

Лит.: Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Статистическая физика, М.—Л., 1951, гл. 12; их же, Электродинамика сплошных сред, М., 1959, гл. 13; Рытов С. М., Теория электрических флуктуаций и теплового излучения, М., 1953; Зил А. ван дер [Ван-дер Зил А.], Флуктуации в радиотехнике и физике, пер. с англ., М.—Л., 1958; Райс С., Теория флуктуационных шумов, в сб.: Теория передачи электрических сигналов при наличии помех, М., 1953; Бриллюен Л., Наука и теория информации, пер. с англ., М., 1960; Бартлетт М. С., Введение в теорию случайных процессов, пер. с англ., М., 1958.

Д. С. Лебедев.

ФОКУСИРУЮЩАЯ АКУСТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (focusing acoustic system; système acoustique à focalisant; Schalloptische System) — система для концентрации акустической (ультразвуковой) энергии, получения УЗ изображений, управления УЗ пучками и т. д.

Действие Ф. а. с. сводится к изменению направления распространения или к трансформации формы волнового фронта и эффективно в тех случаях, когда размеры трансформируемого волнового фронта велики по сравнению с длиной волны. Поэтому Ф. а. с. применяются почти исключительно в диапазоне средних УЗ частот. Так же как в аналогичных оптич. системах, в Ф. а. с. используются плоские, вогнутые и выпуклые зеркала, призмы, линзы, собирающие и рассеивающие. В зависимости от условий Ф. а. с. могут быть как с осевой симметрией, так и цилиндрические. Основные характеристики Ф. а. с.— форма и размеры фокальной области и т. н. коэфф. усиления по звуковому давлению, представляющий собой отношение *звукового давления* в центре (или на оси) фокальной области к давлению на входе системы. В простейшем случае симметричного относительно оси круглого пучка, сходящегося под малым углом, осн. энергия сосредоточена внутри т. н. фокального пятна, представляющего собой в данном случае окружность радиусом $r_0 = 0{,}61 \frac{\lambda F}{R}$, а коэфф. усиления без учета потерь в Ф. а. с. равен $K_p = \pi R^2/\lambda F$, где λ — длина волны, F — фокусное расстояние, R — радиус зрачка Ф. а. с. Усиление в цилиндрич. системе всегда меньше, чем в системе с осевой симметрией. По назначению различают Ф. а. с. излучающие, приемные и системы для получения звуковых изображений. Излучающие Ф. а. с. (концентраторы) служат для создания высокой *интенсивности ультразвука* в фокальной области (порядка сотен и тысяч *вт/см²*, а в нек-рых спец. случаях сотен тысяч *вт/см²*, что соответствует звуковому давлению в неск. сотен атмосфер) и применяются в *ультразвуковой технологии*, в биологии и медицине, в лабораторных исследованиях. Из-за больших потерь звуковой энергии в материале звуковых линз в излучающих Ф. а. с., преимущественно применяются либо вогнутые зеркала, либо спец. *фокусирующие ультразвуковые излучатели*, создающие сразу сходящийся фронт требуемой формы. Приемные Ф. а. с. используются для получения острой хар-ки направленности приемного устройства, необходимой при различении диффузного шумового поля. Сам приемный элемент располагается в фокальном пятне системы. К системам, предназначенным для образования звуковых изображений, предъявляются более жесткие требования, сходные с требованиями, предъявляемыми к оптич. объективам. Наряду с разрешающей способностью, определяемой размерами фокального пятна, при воспроизведении звуковых изображений требуется отсутствие геометрич. и волновых аберраций в пределах заданного угла наблюдения. Получающееся звуковое изображение, представляющее собой пространственное распределение звуковой энергии, преобразуется спец. методами в видимое (см. *Визуализация звуковых полей*). Для линз используются материалы, через к-рые звук распространяется с другой скоростью, чем через окружающую среду. Напр., в жидкостях можно использовать как линзы из различных пластмасс, так и жидкостные линзы, ограниченные тонкими пластмассовыми пленками. При применении различного вида зеркал требуется обеспечить достаточную величину коэфф. отражения звуковой волны, что достигается надлежащим выбором материала и толщины зеркала.

Лит.: Розенберг Л. Д., Звуковые фокусирующие системы, М.—Л., 1949; его же, О концентраторах ультразвука, «Тр. Комис. по акуст. АН СССР», 1955, сб. 8, с. 102—13; Каневский И. Н., Розенберг Л. Д., Расчет звукового поля в фокальной области цилиндрической фокусирующей системы, «АЖ», 1957, т. 3, вып. 1, с. 46—61.

Л. Д. Розенберг.

ФОКУСИРУЮЩИЙ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ (ultrasonic focusing radiator; emetteur de ultrasonore focalisant; Ultraschallconvergenzstrahler, fokusierende Ultraschallsender) — устройство, излучающее УЗ волну со сходящимся сферич. или цилиндрич. когерентным фронтом. Излучающая поверхность Ф. у. и. выполняется в виде отрезка сферической (рис., *1*) или цилиндрической поверхности (рис., *2*); цилиндрич. Ф. у. и. иногда делаются в виде замкнутого цилиндра (рис., *3*). Ф. у. и. применяются для обр. для целей *ультразвуковой технологии* в процессах, протекающих в жидкости (очистка, эмульгирование, распыление и т. д.), позволяя создать требуемую интенсивность УЗ в небольшом рабочем объеме, без потерь на кавитацию у поверхности излучателя и в контактном слое жидкости. Ф. у. и. являются частным случаем *фокусирующих акустических систем* и имеют общие с ними хар-ки: формы и размеров фокальной области и коэфф. усиления по давлению. У сферич.



Схема действия фокусирующих излучателей различных типов: *1* — отрезок сферы; *2* — отрезок цилиндра; *3* — трубчатый излучатель.

Ф. у. и. фокальное пятно имеет круглую форму, у цилиндрического—это полоса, вытянутая вдоль оси цилиндра. Сферич. Ф. у. и. применяются при очистке мелких деталей, для УЗ диспергирования, при УЗ распылении жидкостей, а также для биологич. целей, т. к. позволяют создать очень высокую интенсивность в строго огранич. области, без существ. воздействия на промежуточные ткани. Незамкнутые цилиндрические (корытообразные) Ф. у. и. удобны, напр., для очистки в поточном режиме, когда очищаемые детали перемещаются вдоль фокальной полосы; замкнутые (трубчатые) применяются при обработке жидкости в потоке, напр., с целью эмульгирования, деполимеризации и т. д. В большинстве случаев Ф. у. и. выполняются из пьезоэлектрич. керамики с использованием толщинного резонанса пластины в области средних (*Мгц*) УЗ частот. В трубчатых иногда используется резонанс изгибных колебаний по окружности цилиндра, лежащий в области нижних (*кгц*) УЗ частот. Для получения высокой интенсивности УЗ в фокальном пятне требуется бо́льшая излучающая поверхность, а для ограничения размеров фокального пятна — малая длина волны, т. е. применение верхних частот. Так как получение синфазного (когерентного) волнового фронта большой площади обычно бывает затруднено неоднородными по поверхности свойствами излучающей керамич. пластины, иногда излучающую поверхность делают из однородного непьезоэлектрич. материала с малыми потерями, напр. из алюминия, причем толщина алюминиевой пластины выбирается из условий толщинного резонанса. Эта пластина возбуждается с задней стороны большим количеством строго одинаковых, тщательно подобранных маленьких пьезоэлектрич. элементов. В результате, благодаря малому затуханию в осн. пластине создается практически синфазный фронт достаточно большой поверхности. В Ф. у. и. такого типа удается получить в фокальном пятне размерами порядка 0,1 *см²* интенсивность в 10^5 *вт/см²*. В Ф. у. и. пром. типа нет нужды в получении столь высокой интенсивности при таких малых размерах фокального пятна. Задача заключается в том, чтобы сосредоточить осн. часть излучаемой УЗ энергии в рабочей части ванны за счет обеднения нерабочих (пристеночных) объемов. Фокальная область при этом имеет достаточно большие размеры, а коэфф. усиления составляет неск. единиц. Применение Ф. у. и. в УЗ технологии позволяет экономно расходовать УЗ энергию и сокращает рабочее время процесса.

Лит.: Розенберг Л. Д., О концентраторах ультразвука, «Тр. Комис. по акуст. АН СССР», 1955, сб. 8, с. 102—13; Каневский И. Н., Розенберг Л. Д., Расчет звукового поля в фокальной области цилиндрической фокусирующей системы, «АЖ», 1957, т. 3, вып. 1, с. 46—61; Розенберг Л. Д., Сиротюк М. Г., Установка для получения фокусированного ультразвука высокой интенсивности, там же, 1959, т. 5, вып. 2, с. 106—21; Матаушек И., Ультразвуковая техника, пер. с нем., М., 1962.

Л. Д. Розенберг.

ФОРМИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСОВ [pulse forming; formage (mise en forme) des impulsions; Impulsformung] — преобразование синусоидального напряжения в импульсы с заданными параметрами или преобразование формы импульсов, генерируемых *генераторами релаксационных колебаний* (*мультивибраторами*, *спусковыми схемами* и др.). Устройства формирования импульсов широко применяются в радиолокации, телевидении, многоканальной импульсной радио- и проводной связи, при импульсных методах технич. и физич. измерений. Составные элементы устройств Ф. и. — *ограничители амплитуды*, *дифференцирующие цепи RC* или *LC*, контуры ударного возбуждения, искусств. длинные линии, а также различные типы генераторов релаксац. колебаний.

Одна из типичных задач техники Ф. и.— получение последовательности коротких импульсов, следующих друг за другом через строго определ. одинаковые промежутки времени. Такая последовательность необходима, напр., в радиолокац. и телевиз. установках для синхронизации развертки индикаторов, генераторов пилы и т. п. В блок-схеме устройства, формирующего синхронизирующие импульсы (рис. 1), синусоид. напряжение генератора с высокой стабильностью частоты подается на вход ограничителя амплитуды, в к-ром путем однократного или многократного двухстороннего амплитудного ограничения и усиления из синусоид. сигнала формируется напряжение прямоугольной формы. При помощи дифференцирующей цепочки это напряжение преобразуется в последовательность остроконечных импульсов положит. и отрицат. полярности, соответствующих фронтам прямоугольного напряжения. Дополнит. односторонним ограничением и усилением может быть получена последовательность импульсов одной полярности, следующих друг за другом с периодом, равным периоду синусоид. напряжения. Формирующие устройства подобного типа применяются также для создания «электрического масштаба» (калибрационных меток) при измерении длительности различных процессов с помощью электронного *осциллографа*. В этом случае сформированные импульсы подаются на управляющий электрод осциллографич. трубки и модулируют луч по яркости, создавая на развертке ряд чередующихся светлых и темных точек или полос с известным временны́м интервалом между ними. В устройствах формирования масштабных импульсов также используют т. н. контур ударного возбуждения, в к-ром при перепадах тока (напряжения), соответствующих началу каждого периода развертки, возникают слабо затухающие собств. колебания. Из этих колебаний путем ограничения, дифференцирования и усиления может быть получена последовательность масштабных импульсов, временно́й интервал между к-рыми равен периоду собств. колебаний контура ударного возбуждения.



Рис. 1. Блок-схема устройства, формирующего синхронизирующие импульсы.

Для формирования коротких прямоугольных импульсов заданной длительности применяют устройства с контуром ударного возбуждения и шунтирующим диодом (рис. 2, *а*). В исходном состоянии лампа $Л_1$ заперта напряжением отрицат. смещения E_{c_1}. При подаче на сетку положит. перепада напряжения

лампа $Л_1$ отпирается и скачкообразное уменьшение напряжения на ее аноде вызывает в контуре LC собств. колебания (ударное возбуждение). В первый полупериод, когда на-

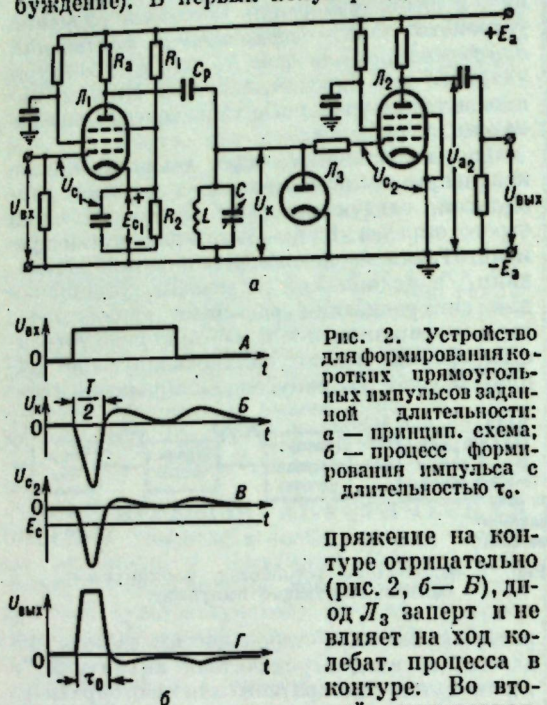


Рис. 2. Устройство для формирования коротких прямоугольных импульсов заданной длительности: *а* — принцип. схема; *б* — процесс формирования импульса с длительностью τ_0.

пряжение на контуре отрицательно (рис. 2, *б*— *Б*), диод $Л_3$ заперт и не влияет на ход колебат. процесса в контуре. Во второй полупериод, когда напряжение на контуре положительно, внутр. сопротивление открытого диода сильно шунтирует контур. В результате положит. пик оказывается почти полностью срезанным, и напряжение на контуре $U_к$ имеет вид импульса. По прекращении действия входного (запускающего) импульса лампа $Л_1$ скачком запирается, возбуждая контур положит. перепадом анодного напряжения. Т. к. колебания в этом случае начинаются с положит. полупериода, то контур с самого начала оказывается зашунтированным открытым диодом, и колебания в нем не возникнут. Во втором усилит. каскаде, собранном на лампе $Л_2$, напряжение $U_к$ ограничивается снизу за счет отсечки анодного тока и сверху—за счет сеточного тока. В результате напряжение на выходе схемы имеет вид прямоугольного импульса с длительностью τ_0, равной половине периода T собств. колебаний контура, т. е. $\tau_0 = \frac{T}{2} = \pi\sqrt{LC}$ (рис. 2, *б* — *Г*). Длительность формируемого импульса регулируется изменением собств. частоты контура с помощью перем. конденсатора.

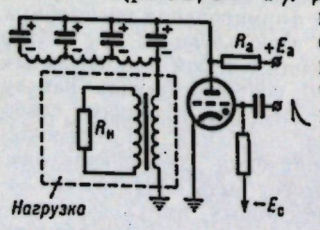


Рис. 3. Принцип. схема устройства с искусств. линией для формирования мощных импульсов.

Для формирования мощных импульсов, служащих для последующей модуляции ВЧ генераторов радиолокац. станций, применяются искусственные длинные линии в сочетании с переключающими схемами. В устройстве с длинной линией, формирующей импульс при разряде (рис. 3), в исходном состоянии тиратрон заперт и емкости искусств. длинной линии заряжаются через сопротивление $R_а$ от источника высокого напряжения $E_а$. Сопротивление $R_а$ выбирается большим, и заряд протекает сравнительно медленно; при этом индуктивности линии не оказывают существенного влияния на процесс заряда. В момент подачи импульса запуска тиратрон зажигается, его сопротивление резко падает и вход линии оказывается подключенным к внешней согласованной нагрузке. Напряжение на нагрузке в момент подключения линии становится равным $E_а/2$, а в линии возникает волна отрицат. напряжения $-E_а/2$, распространяющаяся в сторону от нагрузки. После отражения от разомкнутого конца линии без перемены знака волна напряжения $-E_а/2$ возвращается к нагрузке, суммируется с напряжением $E_а/2$ и полностью разряжает линию. Т. о., через время $2t_{пр}$, где $t_{пр}$ — время распространения сигнала от нагрузки до конца линии, линия полностью разряжается и тиратрон гаснет. Затем емкости линии снова медленно заряжаются; после прихода очередного импульса запуска процесс повторяется. На нагрузке образуется последовательность прямоугольных импульсов длительностью $2t_{пр}$. За счет длительного накопления энергии при медленном заряде емкостей линии и реализации ее в течение короткого времени $2t_{пр}$ в нагрузку передается импульсная мощность, к-рая в сотни и тысячи раз больше ср. мощности источника питания.

В устройствах Ф. и. с *линией задержки* в цепи *обратной связи* схема перебрасывается входным перепадом напряжения из исходного состояния в нек-рое промежуточное и находится в нем, пока часть выходного напряжения не поступит через цепь задержки обратно на вход устройства. В момент поступления напряжения обратной связи схема перебрасывается в исходное состояние, формируя, таким образом, импульс с длительностью, определяемой временем задержки в цепи обратной связи. Используются также и другие варианты устройств Ф. и. с длинными линиями, напр. устройство с линией, формирующей импульс при заряде [1]. В процессе наладки различных импульсных схем, а также для точного измерения малых временны́х интервалов (напр.

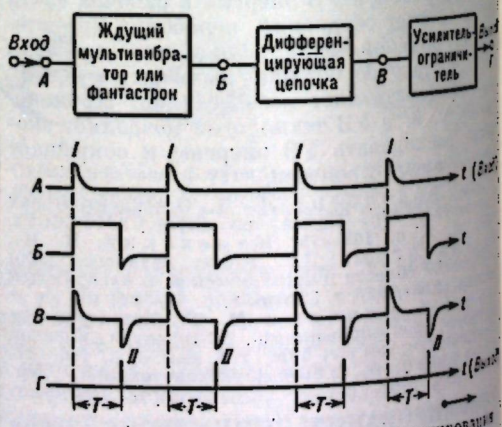


Рис. 4. Блок-схема устройства для формирования последовательности импульсов, задержанной относительно исходной на определенный интервал времени.

в радиолокации) возникает необходимость в формировании последовательности импульсов, задержанной относительно исходной на

определ. интервал времени. Подобная последовательность задерж. импульсов может быть получена с помощью ждущего *мультивибратора* или *фантастрона* с последующим Ф. и. дифференцирующей цепочкой и усилителем-ограничителем (рис. 4). Входные импульсы запускают ждущий мультивибратор (или фантастрон), на выходе к-рого возникает последовательность импульсов с регулируемой длительностью (рис. 4, *Б*). После дифференцирования, ограничения и усиления из задних фронтов этих импульсов формируются импульсы, задержку к-рых T относительно исходных можно плавно регулировать (рис. 4, *Г*).

Широко применяются также устройства, формирующие импульсы спец. формы (напр., пилообразной). Конкретные схемы устройств Ф. и. весьма разнообразны; в качестве активных элементов в них используются как электронные лампы, так и ПП диоды и триоды.

Лит.: 1) Кривицкий Б. Х., Элементы и устройства импульсной техники, 2 изд., М., 1961; 2) Гусев В. В., Формирование импульсов, М., 1958.

Л. Л. Москвитин.

ФОРМИРОВАТЕЛЬ ТАКТА (oscillator; formateur de cadence; Taktgenerator) — блок устройства управления ЦВМ, вырабатывающий совокупность сигналов, определяющих такт работы машины и требуемую последовательность срабатывания отдельных устройств, блоков и элементов. Задающий узел Ф. т.— генератор главных синхронизирующих импульсов. Преобразование гл. синхроимпульсов в управляющие сигналы осуществляется:

а) с помощью пересчетных схем, связанных с избират. схемами. В процессе последовательного деления частоты следования главных синхроимпульсов в пересчетной схеме формируются сигналы с длительностями, кратными длине оси. синхронизирующего цикла. Коэфф. кратности определяются номерами пересчетных ячеек. Коммутацией прямых и инверсных выходов этих ячеек с входными цепями избират. схем обеспечивается селекция сигнала требуемой длительности. Выход каждой избират. схемы связан с соответствующими управляющими или исполнит. каскадами. Оперативное изменение *временно́й диаграммы* такта работы ЭВМ производится либо перекоммутацией выходных цепей избират. схем, либо изменением режима работы пересчетной цепи. Окончание такта работы машины совмещается с приведением всех пересчетных каскадов в исходное состояние. Длительность такта работы машины равна длине полного цикла работы пересчетной схемы Ф. т. Этот способ применяется гл. обр. на устройствах потенциального или импульсно-потенциального типа;

б) с помощью секционной сдвигающей цепи, на вход к-рой поступают главные синхронизирующие импульсы. Каждый синхронизирующий импульс продвигает сигнал на одно звено, формирующее соответствующий управляющий сигнал. Звеньями сдвигающей цепи (сдвигающего регистра) служат статич. или динамич. триггеры, ферритдиодные или ферриттранзисторные ячейки и т. д. При этом в любой момент времени активно только одно звено (содержит единицу). При его срабатывании выдается рабочий сигнал в управляющие цепи и одновременно активизируется следующий каскад, формирующий очередной управляющий сигнал. По окончании такта работы машины активизируется первое звено сдвигающей цепи, соответствующее нач. сигналу очередного такта работы машины. Все остальные звенья приводятся в нулевое состояние. Изменение порядка следования управляющих сигналов (оперативное изменение временно́й диаграммы такта работы машины) достигается изменением последовательности срабатывания отдельных звеньев сдвигающей цепи. Этот способ применяется в основном для машин, построенных на импульсных, в частности на динамич., схемах;

в) с помощью спец. запоминающих матриц. Выборка той или иной группы сигналов зависит от типа команды, выполняемой в данном такте работы машины. Порядок поступления сигналов в рабочие цепи обеспечивается двумя путями: 1) одновременная выборка из запоминающей матрицы всей группы требуемых сигналов, запись на выходном регистре и последовательное считывание сигналов с этого регистра главными синхроимпульсами; 2) последовательный опрос требуемой группы ячеек запоминающей матрицы с непосредственной выдачей управляющих сигналов в рабочие цепи. Запись управляющих сигналов в запоминающей матрице может быть жесткой, заранее заданной для каждой команды, и оперативной, изменяемой в процессе функционирования. Во втором варианте удобно менять временну́ю диаграмму такта работы машины в зависимости от ряда условий, проявляющихся в процессе формирования такта.

Матричные Ф. т. обеспечивают как макро-, так и микропрограммное формирование такта работы машины. В первом случае каждой макрокоманде соответствует своя группа управляющих сигналов, к-рые обеспечивают переключение вентильных цепей, задающих необходимый режим работы исполнит. элементов. В случае микропрограммного формирования такта работы машины каждый макротакт, соответствующий макрокоманде, разбивается на последовательно формирующиеся микротакты. В течение каждого микротакта выполняется одна микрокоманда. Микротакт задается группой сигналов, выбираемых из запоминающей матрицы и поступающих непосредственно на исполнит. элементы.

Бывают общий (центральный) и автономные Ф. т. Общий Ф. т. характерен для машин с централизованной синхронизацией. Он формирует такт работы машины, к к-рому привязана работа всех устройств и блоков. В тех случаях, когда используются местные УУ, местный такт полностью вписывается в центральный такт работы машины (на время работы местного УУ центральный Ф. т. просто задерживает выработку очередного управляющего сигнала). В синхронных машинах момент окончания такта определяется Ф. т. в зависимости от типа выполняемой команды (часто задается жесткий такт работы машины, определяемый макс. временем выполнения самой длинной операции). В асинхронных машинах с общим Ф. т. такт завершается по сигналу, определяющему момент окончания выполнения операции исполнит. устройством или блоком. Автономные Ф. т. встречаются в асинхронных машинах, построенных по агрегатному принципу. Каждый функцион. агрегат обладает своим Ф. т., вырабатывающим совокупность сигналов, к-рые определяют требуемый режим работы этого агрегата. Взаимодей-

ствие отдельных агрегатов между собой обеспечивается внешними импульсами, с помощью к-рых УУ машины определяет необходимость выполнения той или иной операции, а исполнительные агрегаты сигнализируют о своей готовности к очередному такту работы.

Н. А. Данильченко.

ФОРМОИМПУЛЬСНАЯ КОРРЕКЦИЯ (pulse-shape correction; correction de forme d'impulsion; Impulsformkorrektur) — коррекция динамич. свойств импульсной системы при помощи изменения формы управляющих импульсов. Влияние формы импульсов заключается в перераспределении нулей передаточной ф-ции импульсной системы. Поэтому Ф. к. применяется: а) для устранения правых нулей передаточной ф-ции импульсной системы, что позволяет уменьшить значение квадратич. показателя погрешности; б) для компенсации нулями передаточной ф-ции нек-рых ее полюсов, что позволяет снизить время установления.

Лит.: Цыпкин Я. З., Об учете формы импульсов в системах прерывистого регулирования, «АиТ», 1955, т. 16, № 5; Рутман Р. С., Применение формоимпульсной коррекции для повышения показателей оптимальности импульсных систем, там же, 1964, т. 25, № 3. *Р. С. Рутман.*

ФОРТРАН [vortran (I. B. M. computer language); fortran (langage-machine); Fortran (Spiechautomat)]— язык описания алгоритмов, разработанный в амер. фирме ИБМ для системы автоматич. программирования на ЭВМ. Создан в 1957 как входной язык программирующей программы для машины ИБМ-704. В дальнейшем получил широкое распространение для различных машин как средство упрощения и автоматизации программирования. Ф. предназначен для задач численного анализа, однако может быть использован и для др. задач, хотя в последнем случае он оказывается менее удобным. Ф. описывает алгоритм в виде последовательности операторов, каждый из к-рых задает определ. действия или доставляет различные сведения, необходимые для составления качеств. программы. При задании операторов широко используются англ. слова, значение к-рых в определ. степени отражает содержание операторов. Однако форма, к-рую необходимо придать всей записи и каждому из операторов, весьма строго регламентирована. Вся информация должна быть нанесена на спец. бланки и сопровождаться особыми служебными пометками. Используя буквенно-цифровую форму задания информации, Ф. содержит ряд ограничений, относящихся к употреблению тех или иных букв для различных обозначений. Напр., слова, обозначающие переменные с фиксиров. запятой, должны начинаться с одной из букв I, J, K, L, M или N и т. п. Осн. оператором языка Ф. является «арифметическая формула», задающая вычисления в форме, близкой к обычным арифметич. ф-лам. Кроме того, в Ф. включены операторы управления, определяющие порядок выполнения операторов и организующие циклич. повторение групп операторов, и операторы ввода—вывода, обеспечивающие рабочую программу вводными и выводными подпрограммами, реализующими обмен информации между внутренней памятью, с одной стороны, и лентами, барабанами, читающим устройством, перфоратором и печатающим устройством — с другой. Широкий набор операторов ввода — вывода — важная особенность языка Ф. и одно из его осн. достоинств. В языке Ф. предусмотрены невыполняемые операторы спецификации, дающие сведения, необходимые для получения качеств. рабочей программы. В эту группу операторов входят «размерность», «эквивалентность» и «частота». Оператор «размерность» информирует транслятор о величине употребляемых в программе массивов. Оператор «эквивалентность» сообщает о возможных совмещениях величин в памяти машины, а оператор «частота» — о частотах условных передач управления во время выполнения готовой программы. Сравнивая Ф. с *алголом*, следует отметить значительно большую ориентацию Ф. на машину и конкретные способы трансляции. Эти особенности несколько усложняют обучение языку и требуют от автора алгоритма большей информации и внимания. Однако эти же особенности существенно упрощают транслятор для Ф., делая Ф. весьма привлекательным для составителей трансляторов.

М. Р. Шура-Бура.

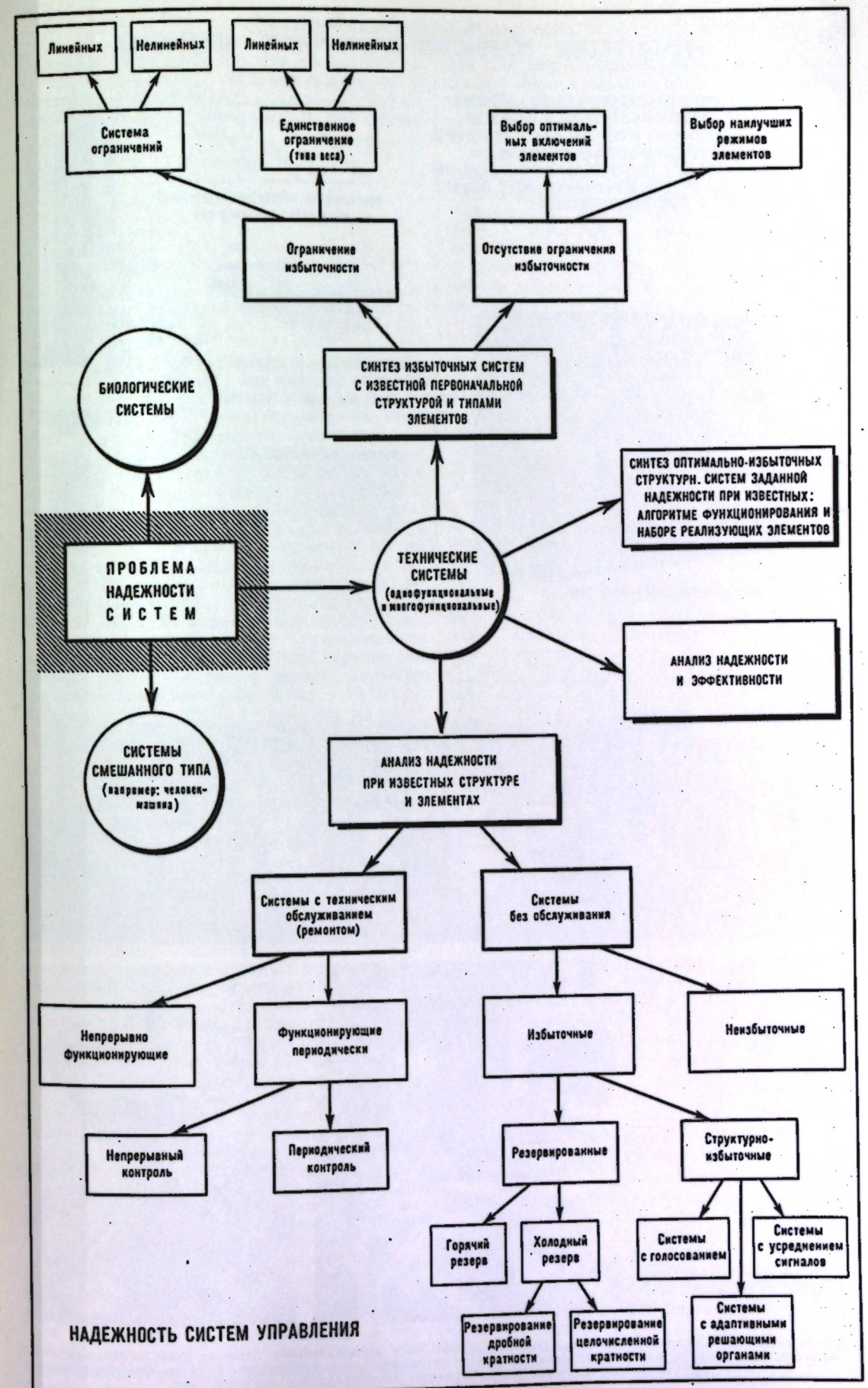
ФОТОДИОД (photo diode; photodiode; photodiode) — ПП диод, с p — n-структурой, к-ром используется зависимость его хар-к от освещенности. Ф., работающий без источника внешнего напряжения, служит преобразователем световой энергии в электрическую и называется вентильным *фотоэлементом полупроводниковым*; при включении Ф. в цепь внешнего источника говорят о «фотодиодном» режиме; в этом случае Ф. обладает значительно бо́льшим сопротивлением и чувствительностью к внешнему сигналу, чем *фотосопротивления* из однородного ПП.

Работа Ф. основана на фотоэффекте в p — n-переходах (см. *Фотоэлектрические свойства полупроводников*). Наибольшее распространение получили Ф., в к-рых поверхность p—n-перехода перпендикулярна направлению освещения (используются также конструкции с освещением, параллельным поверхности перехода). Т. о., свет обычно падает на широкую и тонкую p-или n-область и, поглощаясь в ней, создает па́ры носителей заряда, к-рые разделяются под действием поля перехода, в результате чего между p- и n-областями возникает разность потенциалов φ. В фотодиодном режиме на Ф. подается внешнее напряжение в запирающем направлении, и тогда фототок I_f, напряжение внешнего источника U и разность потенциалов φ на p — n-переходе связаны соотношением:

$$I_f - I_s = (\exp q\varphi/kT - 1) = \frac{\varphi - U}{R},$$

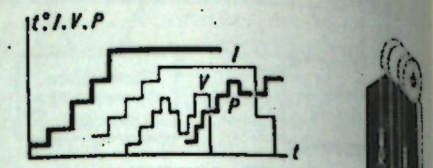
где q — заряд электрона, k — постоянная Больцмана, T — темп-ра, R — сопротивление внешней цепи, а ток I_s равен сумме тепловых токов дырок и электронов.

В фотодиодном режиме ток через p — n-переход переносится только неосновными носителями заряда, для к-рых потенциальный барьер отсутствует, и поэтому ток в нагрузке $I = \frac{\varphi - U}{R}$ в больших пределах не зависит от приложенного напряжения и изменяется с увеличением или уменьшением освещенности (рис. 1). Люксамперная хар-ка германиевых Ф. в фотодиодном режиме в очень широких пределах линейна (рис. 2). Чувствительность Ф. из Ge имеет максимум примерно при 1,5 *мк* и спадает до нуля на краю полосы собств. поглощения. В правильно сконструированном фотодиоде фототок I_f очень слабо изменяется с темп-

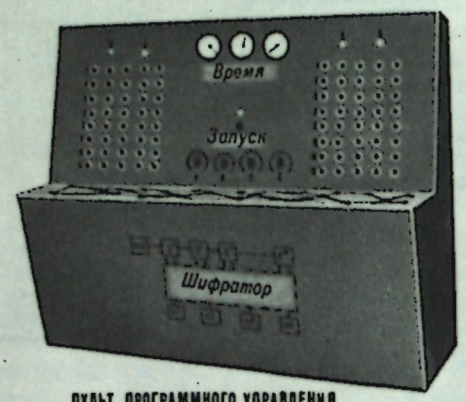


БЕСКОНТАКТНОЕ УСТРОЙСТВО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

БЕСКОНТАКТНОЕ УСТРОЙСТВО ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПОЗВОЛЯЕТ ОСУЩЕСТВЛЯТЬ УПРАВЛЕНИЕ ОБЪЕКТАМИ ПО ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМУ ИЛИ ВРЕМЕННОМУ ГРАФИКУ. ПРИМЕНЯЕТСЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ ПТС ПОВЕРХНОСТИ ШАХТ И ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ФАБРИК. МОЖЕТ ПРИМЕНЯТЬСЯ В ЛЮБОЙ ОТРАСЛИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ. ПОВЫШАЕТ НАДЕЖНОСТЬ И ОПЕРАТИВНОСТЬ УПРАВЛЕНИЯ.

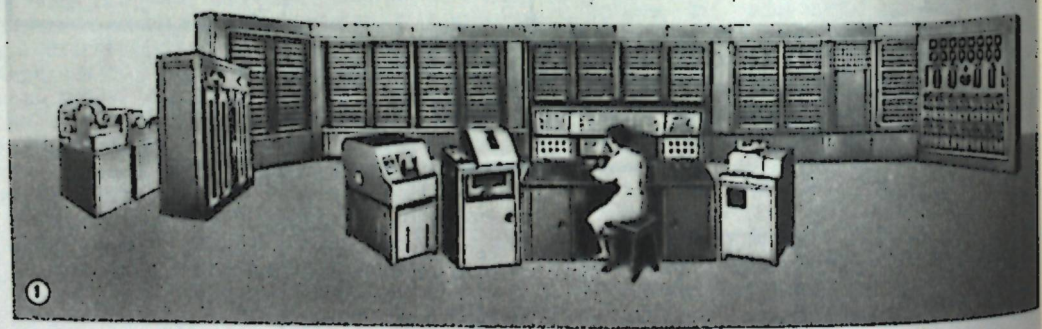


ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ВАКУУМНОЙ ОБРАБОТКОЙ ПРИБОРОВ СВЧ

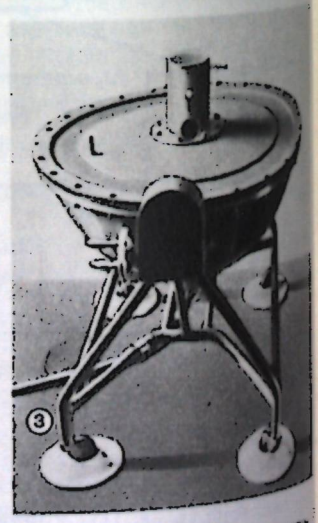


ПУЛЬТ ПРОГРАММНОГО УПРАВЛЕНИЯ

ПРОГРАММНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ПОТОЧНО-ТРАНСПОРТНЫМИ СРЕДСТВАМИ КОМПЛЕКСА УЗЛОВ ПОВЕРХНОСТИ УГОЛЬНОЙ ШАХТЫ







1. К ст. Цифровая вычислительная машина. ЦВМ М-20 динамического типа. 2. К ст. Ультразвуковая очистка. Ультразвуковой агрегат для очистки изделий от загрязнения. 3. К ст. Фокусирующая акустическая система. Фокусирующий ультразвуковой концентратор.

(примерно от 15 до 30 *мка* при увеличении T от —80° С до +80° С), тогда как I_s изменяется очень сильно (от 0 до 1000 *мка* в том же интервале темп-р). Для уменьшения I_s необходимо

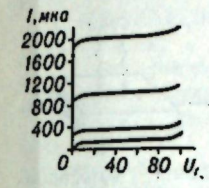


Рис. 1. Семейство вольт-амперных хар-к германиевого фотодиода.

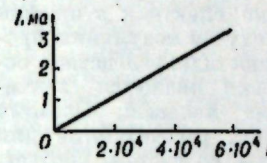


Рис. 2. Люксамперная хар-ка германиевого фотодиода: L — освещенность.

либо понижать рабочую темп-ру, либо изготавливать фотодиоды из ПП с широкой *запрещенной зоной*.

Инерционность Ф. определяется прежде всего временем t диффузии неосновных носителей заряда (созданных светом) от освещенной поверхности к p — n-переходу и величиной RC (R зависит от сопротивления p — n-перехода, контактов и внешней нагрузки, а C — от емкости p — n-перехода и монтажа). Если p — n-переход находится на глубине x от освещаемой поверхности, то $t \approx x^2/2D$ (D—коэфф. диффузии неосновных носителей заряда). При $x \sim 10$ *мк* в германии ($D \sim 50$ *см²/сек*) t может составлять 10^{-8} сек., а при меньших толщинах инерционность германиевых Ф. становится еще меньше. Величина RC может иметь миним. величину (определяемую конструкцией Ф.) $\sim 10^{-9}$ сек. Кроме германия, Ф. изготовляются на основе Si, InSb, InP и др.

Высокая чувствительность и малая инерционность Ф. позволяют использовать их в качестве детекторов излучения (причем не только лежащего в основной полосе, но и, напр., рентгеновского), в т. ч. модулированного. Ф. с успехом заменяют во многих случаях фотосопротивления. Большое применение Ф. имеют для оптич. смешения (см. *Фотосмеситель*).

Лит. см. при ст. *Фотоэлектрические свойства полупроводников.* *М. М. Горшков.*

ФОТОЛИТОГРАФИЯ (photoengraving; photolithographie; Fotolithografie) — технологич. метод при производстве ПП приборов, позволяющий создавать на поверхности ПП рельефы требуемой конфигурации. Рельеф образуется в результате нанесения и обработки слоя спец. состава — фоторезиста (основные свойства к-рого: светочувствительность и устойчивость к воздействию травления, нагрева и т. д.). Фоторезист наносится на поверхность ПП в жидком виде и высушивается, после чего экспонируется через стеклянный или кварцевый трафарет с непрозрачным рисунком, представляющим обычно многократно повторяющиеся изображения активных областей ПП прибора (база, эмиттер), контактов, соединений и т. д. Засвеченные участки фоторезиста переходят в нерастворимое состояние, в то время как незасвеченные вымываются при операции проявления в растворителе. В результате создается защитный рельеф из участков засвеченного фоторезиста, к-рый может быть использован при вытравливании в германии и кремнии меза-структур, лунок, канавок и т. д., при хим. или электрохим. нанесении и вакуумном напылении металлов на свободные от фоторезиста участки поверхности ПП; при вытравливании окисла кремния (если фоторезист наносится на предварительно окисленную поверхность кремния) для осуществления диффузии с маскировкой окислом и т. д.

Ранее Ф. находила основное применение в полиграфич. пром-сти для изготовления печатных форм. С появлением техники печатных радиосхем Ф. начинает применяться в электронике. С зарождением планарной и меза-технологии произ-ва ПП приборов и особенно с разработкой молекулярных устройств на основе твердого тела Ф. становится одним из осн. технологич. методов.

Особое значение Ф. приобретает при разработке и производстве сложных ПП приборов, напр. мощных и ВЧ транзисторов, *твердых схем* и т. д. (см. также *Микроминиатюризация*).

Ф. обладает след. достоинствами: 1) гибкость метода, позволяющая легко переходить от одной требуемой конфигурации к другой; 2) универсальность (напр., травление рельефов в окисле, создание меза-структур, контактов, производство масок для напыления, сложных деталей и т. д.); 3) возможность получения с высокой точностью сложных рельефов с микронными размерами; 4) воспроизводимость в получении сложных рельефов; 5) массовость произ-ва при одновременном получении на пластине ПП сотен и тысяч идентичных заготовок приборов; 6) возможность автоматизации процессов.

Лит.: Nall J. R., Lathrop J. W., Transistors are made by photolithography, «Electronics», 1958, v. 31, № 7, p. 142; Payne P. D., Technology of transistor mask fabrication, «Semicond. Prod.», 1962, v. 5, № 5, p. 32—36. *Ф. П. Пресс.*

ФОТОСМЕСИТЕЛЬ (photomixer; photomélangeur; Fotomischer) — фотоэлектрическое устройство для приема и преобразования когерентного света двух (или нескольких) частот. Ф. является элементом системы *связи оптической* и необходим для приема сигналов по супергетеродинному принципу. В Ф. происходит «смешение» принимаемого луча с лучом местного генератора света (гетеродина). В качестве Ф. применяются полупроводниковые *фотодиоды*.

Если на поверхность фотодиода падает излучение двух близких частот ω_1 и ω_2 с амплитудами электрич. векторов E_1 и E_2, то на глубине x от поверхности фотодиода будет возникать количество электронно-дырочных пар N, пропорциональное $[{}^1/_2 E_1^2 + {}^1/_2 E_2^2 + E_1 E_2 \cos(\omega_1 - \omega_2)t + E_1 E_2 \cos(\omega_1 + \omega_2)t + {}^1/_2 E_1 \cos 2\omega_1 t + {}^1/_2 E_2 \cos 2\omega_2 t] e^{-kx}$, где k — коэфф. поглощения. При супергетеродинном приеме имеет значение переменная составляющая $E_1 E_2 \cos(\omega_1 - \omega_2) t e^{-kx}$, изменяющаяся с частотой биений $\Delta\omega = \omega_1 - \omega_2$, и постоянная компонента $({}^1/_2 E_1^2 + {}^1/_2 E_2^2) e^{-kx}$, определяющая постоянную составляющую тока гетеродина. Чтобы сигнал частоты $\Delta\omega$ не искажался, время прохождения светом поглощающей области должно быть мало по сравнению с $1/\Delta\omega$. Для получения достаточной эффективности Ф. толщина поглощающей области должна быть $\sim 1/k$; свет пройдет эту толщину за время $\tau \sim n/kc$, где n — коэфф. преломления, c — скорость света в пустоте. Поскольку в полупроводниках $k \sim 10^3 - 10^5$ *см*$^{-1}$, а $n \sim 3$, то $\tau \sim 10^{-14} - 10^{-16}$ сек.; поэтому на практически используемых часто-

тах биений $\Delta\omega$ (частотах модуляции) искажений не будет. Макс. рабочая частота фотодиода, работающего в качестве Ф., определяется временем переноса носителей заряда через область объемного заряда p — n-перехода. Это время зависит от внутр. структуры фотодиода и определяется носителями заряда, движущимися с меньшей скоростью v_s, а также коэфф. поглощения (т. к. толщина поглощающего слоя должна быть $\sim 1/k$). Заметим, что RC — параметры Ф. снижают макс. рабочую частоту. Теоретически при $\lambda \sim 1$ *мк* для p — n-диодов из InSb при 77°K критич. частота биений $\Delta\omega$ может достигать 10^{14} *гц*. Однако вследствие практич. затруднений в существующих p — n-фотодиодах на основе InSb, InP, Ge критич. частота составляет $\sim 10^{11}$ *гц*, а в фотодиодах на основе Si и GaAs — 10^{10} *гц*. Чувствительность фотодиодов, работающих в качестве Ф., определяется шумами фотодиода и предусилителя. Макс. отношение сигнал/шум, равное $\beta P_s/h\nu\Delta B$ (где β — квантовая эффективность фотодиода, P_s — эффективная мощность входного сигнала частоты ν, ΔB — полоса шумов, h — постоянная Планка), достигается при $2qI^* > (4kT)^2C^2\omega^2$, где q — заряд электрона, I^* — постоянная составляющая тока гетеродина, C — емкость барьера, k — постоянная Больцмана. Следует отметить, что число фотонов, падающих в единицу времени на поверхность Ф., $P_s/h\nu$, должно быть достаточно большим для того, чтобы фаза приходящей световой волны была определенной (неопределенность фазы растет с уменьшением $P_s/h\nu$, поэтому при малом $P_s/h\nu$ информации из приходящей световой волны извлечь нельзя).

Супергетеродинный прием с использованием Ф. имеет большие преимущества по сравнению с методом прямого усиления сигналов, выделенных фотодиодом, т.к. обладает высокой чувствительностью, а (при исключении частот зеркального канала) спектр сигнала на выходе супергетеродинного приемника точно соответствует огибающей модуляции входного сигнала. Поскольку $\Delta\omega$ имеет величину порядка нескольких *Мгц* или десятков *Мгц*, усиление, преобразование и детектирование этой частоты осуществляется с помощью хорошо разработанных методов техники СВЧ. Напр., сигнал лазера, излучающего свет с длиной волны $\lambda = 3$ *мк* и мощностью 1 *вт* в полосе 1 *кгц* и распространяющийся в телесном угле $\sim 10^{-6}$ *рад*, может быть обнаружен с помощью соответствующей оптики на расстоянии $\sim 10^{11}$ *км*. Применение Ф. для приема лазерного излучения имеет большое будущее при построении оптических линий связи.

Лит.: Лазеры. Сб. ст., пер. с англ., М., 1963; «Труды ин-та инженеров по электротехнике и радиоэлектронике», 1963 (США), рус. пер., т. 51, № 1.
М. М. Горшков.

ФОТОСОПРОТИВЛЕНИЯ (photo-resistors; photo-résistances; Fotowiderstände) — элементы электрической цепи из однородного ПП, проводимость к-рых изменяется в зависимости от их освещенности. В Ф. используется явление фотопроводимости (см. *Фотоэлектрические свойства полупроводников*). В принципе Ф. представляет собой кристалл ПП с двумя токоподводящими электродами (рис.). При отсутствии освещения Ф. обладает т. н. темновой проводимостью, величина к-рой меньше в ПП с широкой *запрещенной зоной* и растет с повышением темп-ры. Толщина Ф. не должна значительно превышать толщины слоя, в к-ром происходит эффективное поглощение света, т. е. должна быть $\sim 1/K$ (K — коэфф. поглощения в рабочем диапазоне спектра); в противном случае модуляция проводимости Ф. вследствие освещения окажется значительно меньшей. Поэтому все Ф., рассчитанные для работы со светом, соответствующим осн. полосе поглощения ($K \simeq 10^4 - 10^5$ *см*$^{-1}$), должны иметь толщину порядка неск. *мк* (однако для Ф., рассчитанных на работу за краем собств. полосы поглощения ПП, такая толщина может оказаться недостаточной, т. к. заметная доля света будет проходить через Ф., не поглощаясь). Ф. изготавливаются обычно путем нанесения слоя ПП (с помощью вакуумного испарения, осаждения из пара, спекания порошков, спекания, хим. осаждения и т. д.) на изолирующее основание. Электродами служат либо тонкие проводящие слои (также полученные путем осаждения, испарения и т. п.), либо тонкие металлич. проволочки, листочки (напр., в случае селеновых фотосопротивлений) и т. д. Контакты между электродами и ПП должны быть невыпрямляющими. Способ нанесения ПП и дальнейшая обработка сильно влияют на хар-ки Ф. Кроме того, способ нанесения часто определяется и самим ПП (для разных ПП пригодны различные способы). Для предохранения Ф. от влаги и др. внешних воздействий на них наносят защитные покрытия.

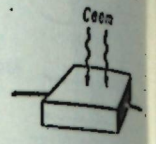


Схема фотосопротивления.

Основные хар-ки Ф.: чувствительность, инерционность и рабочая область спектра. Чувствительность Ф. сильно повышается с понижением темп-ры. У лучших Ф. из PbS отношение сигнал/шум равно 1 при мощности света $\sim 10^{-11}$ *вт*. Инерционность Ф. определяется *временем жизни носителей заряда* — она меньше в ПП с малым временем жизни. Так, инерционность Ф. из InSb составляет всего лишь 0,4 *мксек*, тогда как в Ф. из PbS 100 *мксек*. Область чувствительности Ф. определяется осн. полосой поглощения (собств. фотопроводимость) и поглощением на примесях (примесная фотопроводимость). Примесная фотопроводимость может наблюдаться при значительно больших длинах волн, чем собственная, и т. о. ее можно использовать для создания Ф., чувствительных к более длинноволновому излучению. Однако величина примесной фотопроводимости значительно ниже, чем собственной, и поэтому для работы с длинноволновым излучением гораздо целесообразнее использовать собств. фотопроводимость в материалах с узкой запрещенной зоной (напр., Ф. из InSb при 25° С чувствительны до 7 *мк*).

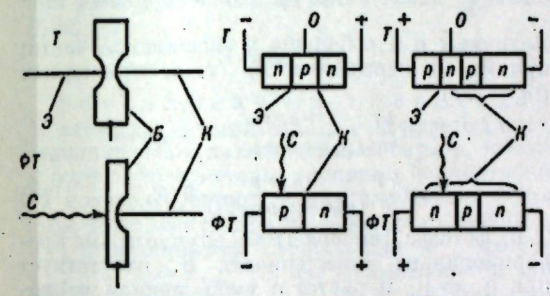
Следует иметь в виду, что чувствительность и инерционность Ф. зависят, вообще говоря, от области спектра, от освещенности, темп-ры и нек-рых др. факторов; поэтому в зависимости от характера использования Ф. необходимо выбирать оптимальные условия работы.

Ф. используются: в качестве детекторов инфракрасного, видимого, ультрафиолетового (на основе PbS, PbSe, PbTe), рентгеновского и γ-излучений (на основе CdS, CdSe), в приборах метрии (на основе PbS, PbTe), в релейных, мостовых и т. п. цепях (на основе PbS, CdS,

CdSe), в устройствах для воспроизведения звука, напр. в кино (на основе PbS), в следящих и передающих системах.

Лит. см. при ст. *Фотоэлектрические свойства полупроводников.*
М. М. Горшков.

ФОТОТРАНЗИСТОР (photo-transistor; photo-transistor; Fototransistor) — транзистор, в к-ром отсутствует эмиттер, а инжекция неравновесных носителей заряда осуществляется с помощью света (см. *Внутренний фотоэффект*, *Фотоэлектрические свойства полупроводников*). Освещаемую область можно сделать очень малой, и тогда носители заряда будут возникать в строго локализованной области ПП, положение к-рой соответствует области, осуществляемой с помощью эмиттера в обычном *транзисторе*. Теория Ф. сходна с теорией соответствующих транзисторов. Изготавливаются Ф. с точечным контактом, с p — n-переходом, с n — p — n-переходом (рис.).



Схематич. сравнение транзисторов (*Т*) и фототранзисторов (ФТ): *Э* — эмиттер; *К* — коллектор; *Б* — база; *С* — свет.

Точечный Ф. состоит из германиевой шайбы (диаметром в неск. *мм*), толщина к-рой в центре $\sim 0{,}07$ *мм*; с одной стороны шайбы (к центр. части) прижимается пружина (играющая роль коллектора), другая ее сторона освещается. Область чувствительности располагается в центре шайбы и имеет площадь порядка сотых *мм*^{2}. Шайба крепится на опорном кольце, с к-рым образует омич. контакт; объем всей конструкции ~ 1 *см*^{3}. Величина обратного фототока J в точечном Ф. зависит от освещенности Ф. (L) по закону $J \simeq L^n$, где $0{,}5 < n < 1$. Благодаря малым размерам чувствит. области, точечный Ф. из Ge обладает высокой разрешающей способностью, что делает его пригодным, напр., для передачи изображений; чувствительность его составляет 0,1 *а/лм*, а инерционность — всего лишь 5 *мксек*.

Значительно большей чувствительностью ($\simeq 0{,}03$ *а/лм*) обладают германиевый Ф. с p — n-переходом — *фотодиод*; инерционность его ~ 10 *мксек*. Такие Ф. используются в качестве детекторов в счетчиках различных излучений, а также для воспроизведения звука (в кино).

Для большей эффективности часто требуется дополнит. фокусировка света (с помощью спец. линзы) на поверхности Ф.

Лит. см. при ст. *Фотоэлектрические свойства полупроводников.*
М. М. Горшков.

ФОТОЭДС (photo-e. m. f.; photo-électricité; Fotospannung) — эдс, возникающая в ПП и металлах при *внешнем фотоэффекте* или *внутреннем фотоэффекте*. Практич. использование находит Ф., возникающая в ПП при внутреннем фотоэффекте в основной полосе поглощения (см. *Фотоэлектрические свойства полупроводников*). Для появления Ф. необходимо, чтобы произошло разделение электронно-дырочных пар, образующихся вследствие фотоионизации; в результате в ПП создается неравномерное распределение пространств. заряда. При замыкании ПП через нагрузку в последней возникает ток, обусловленный выравниванием этого заряда, т. е. ПП действует как источник эдс. В зависимости от способа разделения электронно-дырочных пар различают: объемную Ф., возникающую в однородном ПП (разделение происходит вследствие различия подвижностей диффундирующих электронов и дырок); Ф. в p — n-переходе (пары возникают вблизи перехода и разделяются под действием его поля); фотогальваномагнитную эдс (разделение пар под действием магнитного поля). Величина Ф. зависит от свойств ПП (ширины *запрещенной зоны*, *времени жизни носителей заряда* и *подвижности носителей заряда*, состояния поверхности и др.), от длины волны и интенсивности света. Ф. используется для преобразования световой (в частности, солнечной) энергии в электрическую (см. *Фотоэлемент полупроводниковый*, *Солнечная батарея*).

Лит. см. при ст. *Фотоэлектрические свойства полупроводников.*
М. М. Горшков.

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ПОЛУПРОВОДНИКОВ (photoelectric properties of semiconductors; propriétés photoélectriques des semi-conducteurs; fotoelektrische Eigenschaften von Halbleitern) — явления и закономерности, наблюдаемые в ПП при *внутреннем фотоэффекте* и *внешнем фотоэффекте* (генерация носителей заряда, возникновение эдс, изменение электропроводности и др.). В ПП наибольшее теоретическое и практическое значение имеет внутр. фотоэффект, заключающийся в генерации неравновесных носителей заряда в объеме кристалла вследствие поглощения электромагнитного излучения. Внутр. фотоэффект может проявляться: в изменении проводимости (фотопроводимость) однородного ПП, в возбуждении эдс в однородном ПП (фотодиффузионный эффект), в возникновении эффекта Холла на фотодиффузионном токе (фотогальваномагнитный эффект), в появлении эдс в неоднородном ПП (фотоэдс в p—n-переходах). Эти явления существенно зависят от процессов генерации неравновесных носителей заряда (фотоионизации), от характера их движения под действием диффузии и внешних или внутр. полей и от процессов рекомбинации. Поэтому изучение Ф. с. п. позволяет получать многие сведения о природе ПП и измерять ряд параметров.

Величина фотоионизации определяется энергией квантов и интенсивностью излучения, а также спектром поглощения ПП; этот спектр в свою очередь зависит от природы ПП, от природы и концентрации примесей, от темп-ры, от механич. давления. Следует иметь в виду, что между спектром поглощения и спектром внутр. фотоэффекта не может быть полного соответствия, поскольку в ПП существуют механизмы поглощения, не приводящие к генерации носителей заряда (поглощение на электрически нейтральных примесях, на колебаниях решетки, на свободных носителях заряда). При ионизации атомов основной кристаллич. решетки фотоэффект наз. «собственным» (т. е. его величина в этом случае определяется прежде всего

природой ПП), а при ионизации атомов примесей — «примесным». Величина собств. фотоэффекта значительно больше примесного. Поэтому обычно при рассмотрении Ф. с. п., существенных для практич. применений, имеют в виду собств. фотоэффект, заключающийся в фотогенерации пар свободных неравновесных носителей заряда.

Фотопроводимость. В однородном неосвещенном ПП при темп-ре T уд. электропроводность σ_0 определяется ф-лой:

$$\sigma_0 = q(n_0\mu_n + p_0\mu_p), \quad (1)$$

где n_0 и p_0 — равновесные концентрации электронов и дырок, μ_n и μ_p — их подвижности, q — заряд электрона. В результате поглощения излучения концентрации носителей заряда меняются и поэтому возникает дополнит. проводимость

$$\Delta\sigma = q(\Delta n\mu_n + \Delta p\mu_p). \quad (2)$$

Это изменение проводимости может значительно превышать σ_0 в случае низких темп-р или ПП с широкой *запрещенной зоной*. Величины Δn и Δp после первоначального периода установления (от начала освещения) принимают пост. значения, определяемые ф-лами:

$$\Delta n = \beta K\tau_n(1-R)J = g_n\tau_n = \theta_n I,$$
$$\Delta p = \beta K\tau_p(1-R)J = g_p\tau_p = \theta_p I, \quad (3)$$

где I — интенсивность (число квантов, падающих на единичную поверхность в единицу времени), K — коэфф. поглощения и R — коэфф. отражения монохроматич. излучения, β — квантовый выход (число свободных неравновесных носителей заряда одного знака, генерируемых одним квантом), τ_n и τ_p — среднее время жизни неравновесных носителей, g_n и g_p — скорости генерации носителей в единице объема. Фоточувствительность однородного ПП определяется отношением $\Delta\sigma/P$, где P — мощность излучения, поглощенная в единице объема. Стационарная величина $\Delta\sigma$ устанавливается после промежутка времени, определяемого процессами рекомбинации в ПП. Время и характер нарастания (после включения освещения) $\Delta\sigma$ до стационарной величины, а также время и характер уменьшения ее (по прекращении освещения) определяются процессами рекомбинации. Т. о., от этих процессов зависит инерционность фотопроводимости, и они определяют частотную зависимость фоточувствительности ПП. Фотопроводимость лежит в основе всех фотоэлектрич. ПП приборов (*фотодиодов*, *фотоэлементов полупроводниковых*, *солнечных батарей*); она непосредственно используется в *фотосопротивлениях*.

Фотодиффузионный эффект (эффект Дембера). При освещении только части поверхности однородного ПП носители заряда, возникающие в освещенной области, диффундируют в неосвещенную. Если подвижности электронов и дырок различны, то в стационарном случае в объеме кристалла устанавливается электрич. поле $\mathcal{E}$, и между освещенной и неосвещенной частями возбуждается разность потенциалов, именуемая фото-эдс Дембера. В прямоугольном образце ПП, освещенном при $x < 0$ (рис. 1), плотность полного тока в направлении x

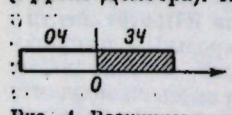


Рис. 1. Возникновение эффекта Дембера: *ОЧ* — освещенная часть; *ЗЧ* — затемненная часть.

$$j = q(n\mu_n + p\mu_p)\mathcal{E} + kT\left(\mu_n\frac{dn}{dx} - \mu_p\frac{dp}{dx}\right), \quad (4)$$

и если внешняя цепь разомкнута ($j = 0$), то поле Дембера

$$\mathcal{E} = -\frac{kT}{q}\frac{\mu_n\frac{dn}{dx} - \mu_p\frac{dp}{dx}}{n\mu_n - p\mu_p}, \quad (5)$$

где k — постоянная Больцмана. Пренебрегая зарядом на локальных уровнях, можно считать, что $\frac{dn}{dx} = \frac{dp}{dx} = \frac{d}{dx}(\Delta n)$, причем $\Delta n = \Delta p$, и тогда

$$-\mathcal{E} = \frac{kT}{q}\frac{\mu_n - \mu_p}{\mu_n + \mu_p}\times$$
$$\times\frac{1}{q(\mu_n n + \mu_p p)}\frac{d}{dx}[q(\mu_n + \mu_p)\Delta n]. \quad (6)$$

Фотоэдс Дембера между точками с координатами $x = x_1$ и $x = x_2$

$$V = -\int_{x_1}^{x_2} E dx = \frac{kT}{q}\frac{\mu_n - \mu_p}{\mu_n + \mu_p}\ln\frac{(\mu_n n + \mu_p p)|_{x=x_2}}{(\mu_n n + \mu_p p)|_{x=x_1}}. \quad (7)$$

Величины n и p больше в освещенной части при малых освещенностях (т. е. при малых $\Delta n = \Delta p$)

$$V = \frac{kT}{q}\frac{\mu_n - \mu_p}{(\mu_n n + \mu_p p)|_{x=x_1}}\cdot\Delta n =$$
$$= \frac{kT}{q}\frac{\mu_n - \mu_p}{(\mu_n n + \mu_p p)|_{x=x_1}}\theta_n E. \quad (8)$$

Т. о., фотоэдс Дембера в этом случае прямо пропорциональна освещенности E, отсутствует при $\mu_n = \mu_p$ и растет с уменьшением равновесной проводимости; поэтому в данном ПП она имеет наибольшую величину в собств. материале.

Фотогальваномагнитный (фотоэлектромагнитный, фотомагнитоэлектрический, магнитофотовольтаический) эффект есть эффект Холла на фотодиффузионном токе. Носители заряда, возникшие в освещенной области ПП, диффундируют в неосвещенную (рис. 2). Магнитное поле H, приложенное в направлении, перпендикулярном направлению диффузии носителей заряда, отклоняет их в 3-м перпендикулярном направлении, создавая магнитодиффузионные токи (при этом электроны и дырки отклоняются в противоположные стороны). В случае разомкнутой внешней цепи в стационарном режиме противоположные грани образца a и b заряжаются до определ. разности потенциалов, именуемой фотогальваномагнитной (ФГМ) эдс. Теория ФГМ эффекта приводит к след. выражению для его величины:

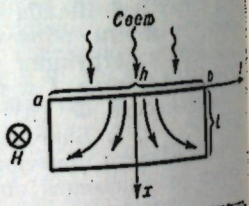


Рис. 2. Фотогальваномагнитный эффект: ab — ширина освещенной части ПП; x и y — координаты.

$$V = h\frac{\frac{qD}{c}\varkappa H(\mu_n + \mu_p)[\Delta p(0) - \Delta p(L)]}{L\sigma_0 + q(\mu_n + \mu_p)\int_0^L \Delta p\, dx}, \quad (9)$$

где $D = \frac{n+p}{\frac{n}{D_p} + \frac{p}{D_n}}$ — коэфф. биполярной диффузии, $\varkappa \simeq 1$ зависит от механизма рассеяния

h — расстояние между заряжающимися поверхностями, β — квантовый выход, L — толщина в направлении x, c — скорость света.

В достаточно толстых образцах ($L \gg l_D$ — длины диффузии) в случае низкого уровня оптич. возбуждения ($\Delta p \ll n_0 + p_0$) выражение (9) упрощается:

$$V = \frac{h}{L}\frac{\varkappa H}{c}\frac{q(\mu_n + \mu_p)}{\sigma_0}\beta I l_D, \quad (10)$$

где I — интенсивность света на освещаемой поверхности. При высоком уровне возбуждения ($\Delta p \gg n_0 + p_0$)

$$V = hD\frac{\varkappa H}{c}\cdot\frac{1}{l_D}. \quad (11)$$

Т. о., величина V, изменяясь линейно с интенсивностью освещения при малых уровнях возбуждения, достигает постепенно насыщения, по величине к-рого можно определить l_D. Вследствие высокой чувствительности ФГМ эффект используется для измерения малых l_D, малых времен жизни τ и скорости поверхностной рекомбинации s, т. к. в тонких образцах ($L \ll l_D$):

$$V = L\frac{\varkappa H}{c}s. \quad (12)$$

Фотоэффект в p—n-переходах. В отсутствие освещения p — n-переход представляет собой потенциальный барьер, высота к-рого определяется в основном концентрацией носителей заряда в p- и n-областях. При этом токи электронов из p-области в n-область J_{-p} и в обратном направлении J_{-n} равны: $J_{-p} = J_{-n} = J_{ns}$. То же справедливо и для потоков дырок: $J_{+n} = J_{+p} = J_{ns}$. Кроме того, при равновесии полный ток через p — n-переход равен нулю:

$$-J_{-n} + J_{+n} + J_{-p} - J_{+p} = 0. \quad (13)$$

В освещенной области p — n-перехода при падении луча света перпендикулярно к его плоскости возникают неравновесные носители заряда; они двигаются под действием диффузии; достигнув p — n-перехода, неосновные носители заряда захватываются его полем и увлекаются в другую область, где они являются уже осн. носителями заряда. Это приводит к снижению потенциального барьера и, следовательно, — к увеличению потока осн. носителей заряда через p — n-переход. Если освещение длится достаточное время, то устанавливается стационарное состояние, при к-ром между p- и n-областями возникает разность потенциалов φ, а полный ток через p—n- переход равен нулю:

$$J_f - J_{-n} + J_{+n} + J_{-p} - J_{+p} = 0, \quad (14)$$

здесь J_f — фототок неосновных носителей заряда через p — n-переход; токи неосновных носителей заряда J_{+n} и J_{-p} остаются теми же, что и до освещения, т. е. $J_{+n} = J_{ps}$ и $J_{-p} = J_{ns}$, а токи осн. носителей

$$J_{-n} = J_{ns}\exp(q\varphi/kT),$$
$$J_{+p} = J_{ps}\exp(q\varphi/kT). \quad (15)$$

Поэтому из (14) следует, что

$$J_f - J_s\left(\exp\frac{q\varphi}{kT} - 1\right) = 0 \quad (16)$$

(здесь $J_s = J_{ns} + J_{ps}$). Т. о., в освещенном p — n-переходе возникает эдс φ:

$$\varphi = \frac{kT}{q}\ln\left(\frac{J_f}{J_s} = 1\right), \quad (17)$$

именуемая вентильной фотоэдс. Ее можно записать иначе:

$$\varphi = \frac{kT}{q}\ln\left[\frac{\gamma}{\frac{p_n t/\tau_p) + (n_p D_n/l_n)}{}} + 1\right], \quad (18)$$

где p_n и τ_p — концентрация и время жизни дырок в освещаемой n-области с толщиной t, а n_p, D_n и l_n — концентрация, коэфф. и длина диффузии электронов в p-области; γ — число электронно-дырочных пар, генерируемых в единицу времени светом, поглощаемым единицей поверхности.

В p — n-переходе, освещаемом параллельно его плоскости, величина фотоэдс

$$\varphi = \frac{kT}{q}\ln\left[\frac{\gamma(l_n + l_p)/l}{(n_p D_n/l_n) + (p_n D_p/l_p)} + 1\right] \quad (19)$$

(здесь t — толщина p — n-перехода в направлении освещения). Вентильная фотоэдс используется в *фотоэлементах полупроводниковых*.

Если освещаемый p — n-переход замкнуть через омич. нагрузку R, то в ней возникнет ток

$$J = \frac{\varphi}{R} = J_f - J_s\left(\exp\frac{q\varphi}{kT} - 1\right). \quad (20)$$

Если же во внешней цепи имеется еще источник напряжения, эдс к-рого U действует в противоположном направлении, то

$$J_f - J_s\left[\exp\frac{q\varphi}{kT} - 1\right] = \frac{\varphi - U}{R}. \quad (21)$$

Такой способ включения используется в *фотодиодах*.

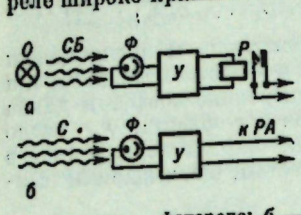
Изучение Ф. с. п. дает сведения о природе ПП, позволяет выяснить механизм многих процессов, в них происходящих, и получить точные методы измерения ряда параметров (см. *Полупроводника измерение параметров*). Ф. с. п. находят широчайшее применение в создании детекторов, счетчиков и преобразователей энергии различных излучений.

Лит.: Бьюб Р., Фотопроводимость твердых тел, пер. с англ., М., 1962; Рывкин С. М., Фотоэлектрические явления в полупроводниках, М., 1963; Вавилов В. С., Действие излучений на полупроводники, М., 1963; Мосс Т., Оптические свойства полупроводников, пер. с англ., М., 1961.

М. М. Горшков.

ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ЭЛЕМЕНТЫ АВТОМАТИКИ (automatic photoelectric components; éléments photoélectriques de l'automatisme; fotoelektrische Bauteile) — элементы автоматических устройств, действие которых основано на явлениях *внешнего фотоэффекта* или *внутреннего фотоэффекта*. В качестве Ф. э. а. используются *фотоэлементы с внешним фотоэффектом*, ПП *фотосопротивления*, *фотодиоды*, *фотоэлементы полупроводниковые*, *электронные умножители*, *электронно-оптические преобразователи* и др. Во всех Ф. э. а. так или иначе используется зависимость фототока от интенсивности возбуждающего его света. Многие Ф. э. а., работа к-рых сводится к выполнению операций типа да — нет, действуют по принципу прерывания т. н. светового барьера — луча света (от специально установленного источника), освещающего поверхность фотоэлемента, фотосопротивления (рис.). При прерывании луча света фототок в цепи Ф. э. а. резко уменьшается; если включить в эту цепь обмотку электромагнитного реле, то получится фотореле, к-рое будет срабатывать при каждом

прерывании луча. Если сила фототока недостаточна для управления работой реле, то используется усилитель фототока. Такие фотореле широко применяются: в технике безопасности при создании различных систем защиты и блокировки (стоп-автоматы в механич. станках и агрегатах, выключатели в блоках высокого напряжения, охрана опасных зон и т. п.); для автоматизации процессов счета и сортировки изделий (каждое изделие данного сорта, движущееся на конвейере, пересекает световой барьер, и с помощью фотореле на регистрирующую аппаратуру поступает соответствующий сигнал); для контроля и регулирования различных технологич. процессов и условий их протекания (контроль проката в металлургич. пром-сти, автоматич. регулирование и контроль темп-ры, контроль расхода различных материалов производства, контроль процессов горения и т. д.).



Блок-схема фотоэлектрич. элемента автоматики, работающего в качестве: *а* — фотореле; *б* — элемента фотометрич. устройства; *О* — осветитель; *СБ* — световой барьер; *Ф* — светочувствит. элемент; *У* — блок питания и усиления; *Р* — электромагнитное реле; *С* — световой поток, зависящий от измеряемого параметра; *к РА* — к регистрирующей аппаратуре.

Так же работают Ф. э. а., управляемые вспышкой (а не прерыванием) света. Такие Ф. э. а. применяются, напр., в системах сигнализации об искрообразовании; в качестве элементов быстродействующих счетно-решающих устройств (см., напр., *оптрон*) и т. п.

Ф. э. а. могут работать также и по принципу измерения величины фотоответа (при данном источнике света освещенность, а потому и фотоответ светочувствит. элемента определяются величиной того или иного внешнего параметра). По такому принципу действуют многие фотоэлектрич. фотометры, позволяющие контролировать содержание газовых примесей в окружающей атмосфере, чистоту газообразных или жидких материалов производства (при этом используется явление поглощения и рассеяния света). Аналогично действуют Ф. э. а., предназначенные для контроля размеров изделий (в зависимости от размеров изделие задерживает бо́льшую или меньшую часть светового потока), для контроля и регулирования числа оборотов и т. п.

Освещенность светочувствит. элемента зависит от ориентации его относительно источника света. На этом основано действие датчиков ориентации фотоэлектрич. следящих систем; в таких системах всякое изменение ориентации фотоэлемента приводит в конечном счете к появлению соответствующего управляющего сигнала, к-рый заставляет систему вернуться в заданное направление. Подобные следящие системы используются, напр., для ориентации по Солнцу *солнечных батарей*, установленных на космич. аппаратах; для определения направления полета летат. аппаратов (следящая система служит элементом астрокомпаса).

Лит.: Клементьев С. Д., Фотоэлектронная автоматика в охране труда, [М.], 1956; Сомин-ский М. С., Вентильные фотоэлементы, Л., 1956; Саммер В., Фотоэлементы в промышленности, пер. с англ., М.—Л., 1961; Гриштейн М. М., Кучикян Л. М., Фотореле в радиолюбительской практике, М.—Л., 1964.

М. М. Горшков.

ФОТОЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ (photo-electron emission; photo-émission, effet photo-émetteur; Fotoemission) — испускание электронов твердыми или жидкими телами под действием света. См. *Электронная эмиссия*, *Внешний фотоэффект*.

ФОТОЭЛЕКТРОННЫЙ КАТОД (photoelektronic cathode; cathode photoélektronique; Fotokatode) — катод, действие к-рого основано на использовании явления фотоэлектронной эмиссии. См. *Внешний фотоэффект*, *Электронная эмиссия*.

ФОТОЭЛЕКТРОННЫЙ УМНОЖИТЕЛЬ (photo-electron multiplier; multiplicateur photo-éléctronique; Fotovervielfacher) — устройство, усиливающее фотоэлектрич. токи внутри фотоэлемента путем многократного использования явления *вторичной эмиссии*. См. *Электронный умножитель*.

ФОТОЭЛЕМЕНТ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ (semiconductor photocell; photocellule à semi-conducteurs; Halbleiterfotozelle) — ПП диод, служащий для преобразования световой энергии в электрическую. В Ф. п. используется вентильная фотоэдс в p—n-переходе (см. *Фотоэлектрические свойства полупроводников*). Ф. п. представляет собой разновидность фотодиода, работающего без внешнего источника напряжения. Обычно используются плоскостные диоды, освещаемые нормально к плоскости p — n-перехода. Освещенный фотоэлемент, замкнутый на омич. нагрузку R, создает в ней ток

$$I = I_f - I_s\left[\exp\left(\frac{q\varphi}{kT}\right) - 1\right], \qquad (1)$$

где φ — разность потенциалов на p—n-переходе, отличная при $I \neq 0$ от фотоэдс, I_f — фототок, а I_s — темновой ток через p—n-переход, T — темп-ра; k — постоянная Больцмана; q — заряд электрона. При уменьшении темп-ры фотоэдс возрастает примерно экспоненциально.

Эффективность преобразования Ф. п. световой энергии в электрическую зависит от длины волны света и от св-в ПП. Если бы каждый носитель заряда, созданный светом частоты ν, проходил через внешнюю цепь, то кпд Ф. п.

$$\eta = q\varphi/h\nu, \qquad (2)$$

где h — постоянная Планка. При этом, однако, необходимо учесть: потери света на отражение и пропускание (при этом α — доля поглощенного света), квантовый выход β (с рекомбинацию генерируемых носителей (доля p — n-перехода доходит доля их $\varkappa$) и ток утечки, вследствие к-рых полезный ток I отличается от полного фототока I_f. Поэтому

$$\eta = \alpha\beta\varkappa\frac{I}{I_f}\frac{q\varphi}{h\nu} \qquad (3)$$

или, используя (1),

$$\eta = \alpha\beta\varkappa\frac{kTI}{h\nu I_f}\ln\left(\frac{I_f - I}{I_s} + 1\right) \qquad (4)$$

(подробнее о кпд см. *Солнечная батарея*).

Наиболее распространены кремниевые и германиевые Ф. п. с вплавными p — n-переходами. Для снижения отражения в рабочей части спектра (лежащей в пределах основной полосы поглощения) освещаемую поверхность покрывают просветляющей пленкой; кроме того, наносятся лаковые покрытия, предохраняющие от внешних химич. и механич. воздействий.

Ф. п. используются не только для преобразования, но и для регистрации световой энергии наряду с *фотодиодами* и *фотосопротивлениями*. Существенно применение Ф. п. в солнечных батареях.

Лит. см. при ст. *Фотоэлектрические свойства полупроводников.*

М. М. Горшков.

ФОТОЭЛЕМЕНТ С ВНЕШНИМ ФОТОЭФФЕКТОМ, электровакуумный фотоэлемент (emission photocell; cellule photoémissive, cellule photo-électrique externe; Fotoelement mit äußerem Fotoeffekt, Fotoemissionszelle) — электровакуумный прибор с фотоэлектронным катодом для управления током в электрич. цепи посредством возникающего в нем *внешнего фотоэффекта*. Ф. с в. ф. применяются в автоматич. контрольной и измерит. системах, в звуковоспроизводящей аппаратуре кинематографии, в фототелеграфии, спектрофотометрии и т. п. Конструктивно прибор представляет собой стеклянную колбу с помещенными внутри нее светочувствит. слоем — фотоэлектронным катодом, и металлич. анодом. Катод может быть нанесен на внутр. поверхность колбы или на металлич. пластину (рис. 1). Ф. с в. ф. различаются по типу использованного в них фотокатода, по оптич. св-вам колбы, наличию или отсутствию газового наполнения и конструктивному оформлению.

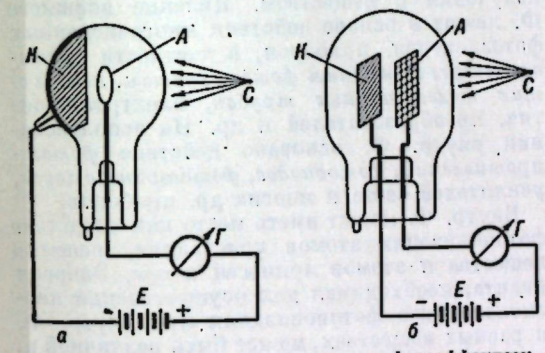


Рис. 1. Фотоэлемент с внешним фотоэффектом: *а* — с катодом *К* на внутр. поверхности колбы и анодом *А* в виде кольца; *б* — с катодом на металлич. пластинке и анодом в виде сетки; *С* — источник света; *Е* — батарея элементов; *Г* — гальванометр.

Осн. хар-ки и параметры Ф. с в. ф.: спектральная чувствительность — отношение фототока к интенсивности падающего на фотокатод фотоэлемента монохроматич. излучения; измеряется в *мка/мвт* или в электронах на квант (т. н. квантовый выход фотоэлемента).

Спектральная характеристика — зависимость спектр. чувствительности от длины волны фотоизлучения (рис. 2). Помимо св-в фотокатода, она определяется оптич. прозрачностью колбы или входного окна. Областью спектр. чувствительности принято считать область спектра, в к-рой величина спектр. чувствительности составляет не менее 10% от ее макс. значения.

Интегральная чувствительность — отношение тока фотоэлемента к интенсивности падающего на его фотокатод полного светового потока от источника света типа «А» (по ГОСТу 7021—55 — вольфрамовая лампа накаливания с цветовой темп-рой нити 2854° К). Интегр. чувствительность с преимуществ. чувствительностью в видимой области спектра измеряется в *а/лм*. В фотоэлементе с малочувствит. фотокатодом для увеличения чувствительности используется

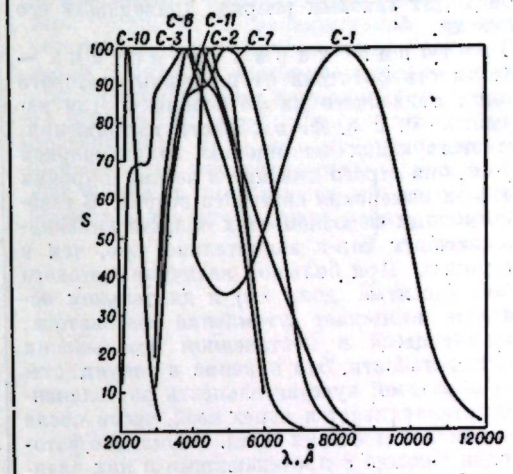


Рис. 2. Типовые спектральные хар-ки фотоэлементов с внешним фотоэффектом: S — относит. спектральная чувствительность; λ — длина волны.

газовое усиление фототока. С этой целью колба фотоэлемента заполняется инертным газом до давления $\simeq 0{,}1$ *мм рт. ст.* Фотоэлектроны, освобожденные светом из фотокатода, разгоняются электрич. полем и, соударяясь с атомами газа, ионизируют его, создавая дополнит. носители заряда — электроны и ионы. В результате этого фототок усиливается. Коэфф. газового усиления находится в пределах 5—10. Газонаполненные фотоэлементы изготовляют только с кислородно-серебряно-цезиевым фотокатодом. Меньшая долговечность и стабильность, а также нелинейность вольтамперной хар-ки фотоэлементов с газовым наполнением делают более предпочтительным использование вакуумных фотоэлементов, когда их параметры удовлетворяют условиям эксплуатации, особенно в измерит. аппаратуре.

Вольтамперная характеристика — зависимость фототока от напряжения между анодом и фотокатодом при пост. величине светового потока. В вакуумных фотоэлементах вольтамперная хар-ка имеет широкую область насыщения, в к-рой фототок практически не зависит от напряжения между катодом и анодом. Эта область определяет диапазон изменения рабочего напряжения. Вольтамперные хар-ки различных типов вакуумных фотоэлементов мало различаются по своей форме. На рис. 3 даны вольтамперные хар-ки

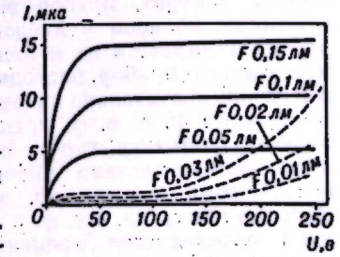


Рис. 3. Вольтамперные хар-ки вакуумных (сплошные кривые) и газонаполненных (пунктирные кривые) фотоэлементов с внешним фотоэффектом: I — ток; U — напряжение фотокатод — анод; F — световой поток.

фотоэлемента типа СЦВ-3 (сплошные кривые). Вольтамперные хар-ки газонаполненных фотоэлементов нелинейны. Чувствительность их

сильно зависит от напряжения (пунктирные кривые). Отклонение вольтамперных хар-к от линейности возрастает с увеличением светового потока. При повышении напряжения сверх допустимого предела в фотоэлементе происходит газовый разряд, приводящий его к гибели.

Световая характеристика — зависимость фототока от величины светового потока, падающего на фотоэлемент. Для вакуумных Ф. с в. ф. в области напряжений, соответствующих насыщению вольтамперной хар-ки, она строго линейна в весьма широких пределах изменения светового потока. В газонаполненных фотоэлементах область линейности световых хар-к значительно уже, чем в вакуумных. При большой величине светового потока (десятые доли *лм*) и длительном освещении возникает утомление фотокатода, проявляющееся в постепенном уменьшении чувствительности. Это явление в значит. степени обратимо: чувствительность фотоэлемента восстанавливается через неск. часов после прекращения действия света. Утомление фотокатодов связано с протекающими в них электролитич. процессами. В бо́льшей степени утомлению подвержены кислородно-серебряно-цезиевые фотокатоды, особенно в газонаполненных фотоэлементах.

Если фотоэлемент полностью защищен от света, то при включенном напряжении в его цепи все же течет нек-рый небольшой ток, к-рый наз. темновым током. Последний складывается из тока термоэлектронной эмиссии фотокатода и тока утечки между фотокатодом и анодом. Желательно иметь наименьший темновой ток, т. к. его флуктуации и нестабильность ограничивают миним. величину светового потока, к-рый может быть зарегистрирован фотоэлементом. Величина термоэмиссии при комнатной темп-ре в фотоэлементах с различными типами фотокатодов составляет от 10^{-12} до 10^{-15} *а*. В большинстве типов серийных Ф. с в. ф. оси. долю темнового тока составляет ток утечки между электродами. Этот ток приблизительно пропорционален напряжению питания и в различных типах фотоэлементов в условиях нормальной эксплуатации (комнатная темп-ра, относит. влажность 70%) составляет величину от $1 \cdot 10^{-7}$ до $1 \cdot 10^{-9}$ *а*. В фотоэлементах, предназначенных для измерений слабых световых потоков, ток утечки уменьшается применением охранного кольца, разделяющего фотокатод и анод. В таких фотоэлементах напряжение питания подается между фотокатодом и охранным кольцом, а измерит. прибор включается между охранным кольцом и анодом. При этом ток утечки замыкается на источник питания, минуя измерит. прибор, благодаря чему темновой ток можно значительно снизить (до $1 \cdot 10^{-14}$ *а*). Вакуумные Ф. с в. ф. практически безынерционны, частотная хар-ка любых схем с такими фотоэлементами определяется обычно постоянными времени др. элементов схемы. Инерционность Ф. с в. ф. с газовым наполнением определяется временем рассасывания объемного заряда в газе и составляет примерно 10^{-4} сек. Вакуумные Ф. с в. ф., помимо указанных выше применений, могут использоваться также в качестве маломощного калибровочного источника «белого» шума (т. е. постоянного по широкому частотному диапазону). Для этого фотоэлемент следует облучить светом от строго пост. источника, напр. от лампы накаливания, питаемой аккумулятором. Если в цепь фотоэлемента включено сопротивление R, то ср. квадрат напряжения шума на его концах, создаваемого фототоком, $\overline{U_ш}^2 = 2qIR^2\Delta f$, где I — фототок фотоэлемента, измеряемый микроамперметром, q — заряд электрона, Δf — ширина полосы пропускания измерит. схемы. Ф. с в. ф. удобно использовать в качестве калибровочного источника шума даже при самых НЧ (единицы *гц*), когда обычные шумовые диоды работают плохо. Срок службы вакуумных Ф. с в. ф. не менее 1000 час., газонаполненных — не менее 700 час.

Лит.: Лукьянов С. Ю., Фотоэлементы, М.—Л., 1948; Саммер В., Фотоэлементы в технике измерений, пер. с англ., М.—Л., 1961.

Т. М. Лифшиц

ФОТОЭФФЕКТ (photo-effect; effet photo-électrique; Fotoeffekt, Effekt) — явление ионизации атомов вещества квантами электромагнитного излучения, сопровождающееся образованием свободных носителей заряда внутри тела (*внутренний фотоэффект*) или выходом их в вакуум (*внешний фотоэффект*). Ф. может иметь место как в изолированном атоме, так и в веществе, находящемся в любом агрегатном состоянии.

Изучение внешнего Ф. дало одно из первых и наиболее веских доказательств квантовой природы взаимодействия электромагнитного излучения с веществом. Явление внешнего Ф. лежит в основе действия многочисленных фотоэлектрич. приборов, в частности *фотоэлементов с внешним фотоэффектом, передающих телевизионных трубок*, электронно-оптич. преобразователей и др. На использовании внутр. Ф. основано действие *фотосопротивлений, фотодиодов, фототранзисторов*, усилителей света и многих др. приборов.

Внутр. Ф. может иметь место как следствие фотоионизации атомов кристаллич. решетки вещества и атомов примесей в нем. Энергия кванта, необходимая для осуществления первичного акта фотоионизации при внутр. Ф. в разных веществах, может быть различной и, в частности, очень малой. Это позволяет строить на основе внутр. Ф. приборы для весьма широкого диапазона инфракрасного спектра, вплоть до субмиллиметровых и миллиметровых волн.

Лит.: Ландсберг Г. С., Оптика, 4 изд., М., 1957 (Общий курс физики, т. 3).

Т. М. Лифшиц

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СХЕМА МАШИНЫ (functional circuit of machine; circuit fonctionnel de machine; Funktionsschaltung einer Maschine) — схема, отражающая взаимодействие устройств, блоков, узлов и элементов машины в процессе ее работы. Содержит только сигнальные связи между функцион. звеньями. Вспомогат. коммуникации, напр. цепи питания, в Ф. с. м. опускаются. Ф. с. м. рассматривается обычно совместно с *временной диаграммой* работы машины, иллюстрирующей временну́ю взаимосвязь управляющих и информац. сигналов. В зависимости от степени детализации различают несколько уровней Ф. с. м.: схема на уровне устройств, в к-рой АУ, ЗУ и др. представлены в виде автономных схемных звеньев; на уровне блоков; на уровне узлов и на уровне элементов. В последнем случае схемным звеном являются отдельные регистры, вентильные группы, инверторы, формирователи и т. д. Внутр. структура каждого схемного

звена не конкретизируется. В отличие от структурных схем, в к-рых условными линиями отражается лишь сам факт структурной связи, Ф. с. м. содержит все рабочие коммуникации, связывающие функцион. элементы машины. Бывают общие (полные) Ф. с. м., отражающие на том или ином уровне всю машину в целом, и частные Ф. с. м., относящиеся лишь к отдельным устройствам или блокам машины. Во 2-м случае входные и выходные связи снабжаются полными функциональными (а иногда и конструктивными) адресами, согласующими между собой все частные Ф. с. м.

Первые вычислит. машины строились по последовательной одноканальной Ф. с. м., при к-рой каждое устройство имело свой отдельный рабочий временно́й интервал. В дальнейшем доминирующими стали разветвл. многоканальные Ф. с. м., предусматривающие независимую и параллельную работу различных устройств с максимальной временно́й уплотненностью. Значительное распространение получили многопрограммные машины, предусматривающие параллельную обработку нескольких задач. Перспективны интерпретируемые Ф. с. м., предусматривающие оперативную трансформацию функциональных связей в зависимости от характера решаемых задач или условий работы машины.

И. А. Данильченко.

X

ХАРАКТРОН (charactron; charaktron; Charaktron) — знаковая индикаторная электронолучевая трубка, предназначенная для воспроизведения на люминесцентном экране букв, цифр и др. знаков, заданных на матрице трубки. Предложен в США в 1941. Электронный луч с поперечным сечением, соответствующим форме изображаемого знака, формируется в результате прохождения пучка электронов через матрицу с трафаретами, расположенную на пути луча к экрану трубки (рис. 1). Матрица представляет собой метал-

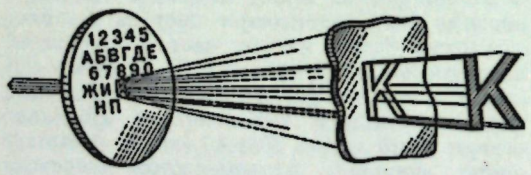


Рис. 1. Принцип образования изображения знака при прохождении луча через матрицу.

лич. пластину с набором знаков в виде отверстий соответствующей формы. В зависимости от конструкции в трубках типа X. выбор знаков, отображение их на различных участках экрана и смещение на экране в пределах формуляра производятся электростатич. или электромагнитными полями.

Электроннооптич. система трубки X. состоит из неск. узлов, формирующих электронный луч и управляющих им (рис. 2): электрон-

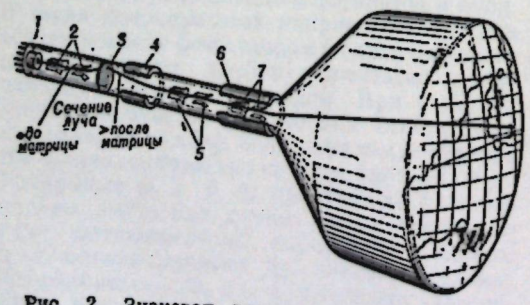


Рис. 2. Знаковая электронолучевая трубка: *1* — катод и оси. фокусировка; *2* — выбирающие пластины; *3* — кодовая матрица; *4* — дополнит. фокусировка; *5* — компенсирующие пластины; *6* — адресные отклоняющие катушки; *7* — пластины формирования формуляра.

ного прожектора, системы выбора знаков на матрице, кодовой матрицы, устройства создания осевого пучка электронов, системы для составления формуляра и адресной систем для размещения формуляра на экране. Т или иной знак выбирается с помощью выбира щих пластин *2*, напряжение на к-рых откл няет луч в место расположения данного зна на матрице *3*. Фокусировка луча должна бы такой, чтобы любой знак матрицы вписы вался в его поперечное сечение. Далее лу принявший необходимую форму, проход через магнитную линзу (фокусирующую к тушку *4*) и компенсирующие пластины возвращающие его точно на ось трубки. П этом изображение знака (конфигурация лу оказывается повернутым на 90° под действи магнитного поля фокусирующей катушк На компенсирующие пластины подаются те напряжения, что и на выбирающие, но с у том их чувствительности и изменения ф-ц горизонт. и вертикального отклонения. О разовавшийся пучок электронов с поперечн сечением, соответствующим тому или ино знаку матрицы, входит в катушку адресо системы *6* точно по оси трубки и его полож ние на экране определяется соотношени токов, протекающих по отклоняющим кату кам.

В зависимости от назначения трубки X изготовляются с экранами, обладающими к длительным (5—10 сек.), так и коротким (10— 20 *мксек*) послесвечением. Размеры изобр жаемого знака определяются расстоянием точки фокуса до экрана и составляют обыч 2—5 *мм* по высоте. Толщина линий зна 0,5 *мм*. Имеются X., в конструкцию электр нооптич. системы к-рых включена дополни электростатич. линза, позволяющая с помощь электрич. напряжения изменять разме изображения знаков. Точность воспроизв дения местоположения знаков одного разм на экране не превышает 20—30% от разме буквы или знака. Частота воспроизведени знаков в зависимости от типа экрана коле лется в пределах 15—25 *гц*, длительнос подсвета одного знака 15—30 *мксек*. Ярко знака 30—70 *нт*.

Для получения на экране X. качественно изображения геометрич. размеры и взаимн установка всех элементов трубки должны и полняться с высокой точностью. Кроме то предусматривается механич. регулировка о дельных узлов. О необходимой высокой то ности изготовления можно судить, напр., р размерам матрицы одного типа X.: толщи пластины 0,025 *мм*; площадь, на к-рой ра положены 64 знака, 1,6 *см*²; высота знака 0,31 *мм*; интервал между знаками 0,76 *мм*. Знаковые ЭЛТ типа X. характеризуются большими размерами экранов (от 15 до 75 *см* в диаметре), высокой плотностью записи (до 16 тыс. знаков), большим быстродействием при выводе знаков (порядка $20 \cdot 10^3$ *зн/сек*). Для управления работой X. нужна спец. схема, к-рая, помимо выработки сигналов, необходимых для обеспечения работы электроннооптич. системы, должна предусматривать запоминание информации с целью ее периодич. повторения, т. к. при одноразовой выдаче знак получается с малой яркостью и непригоден для оперативной работы.

С развитием ЭВМ X. получили широкое распространение как средство для быстрого и наглядного вывода данных из машины и, особенно, в качестве вторичных индикаторов устройств отображения в ряде управляющих систем (напр., системы ПВО США «Сейдж»). В первом случае X. используется в качестве выходного печатающего устройства для вывода цифро-буквенной информации со скоростью до $25 \cdot 10^3$ *зн/сек*, причем изображенные на экране знаки можно фотографировать скоростной кинокамерой. Во втором случае оказалось возможным сочетать различные данные, напр., от радиолокац. станций, с картами, маршрутами и т. п., а также давать на экране дополнит. сведения об объекте, группируя их в виде формуляра (рис. 3). Для получения формуляра схема управления X. вырабатывает ступенчатое напряжение, к-рое подается на спец. формулярные пластины и отклоняет электронный луч относительно центра формуляра. Хорошее качество изображаемых знаков, наглядность, высокое быстродействие делают X. одним из осн. средств отображения информации.

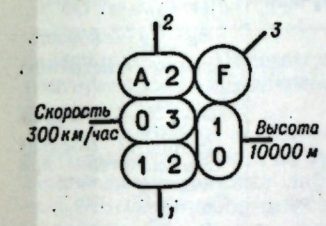


Рис. 3. Вид формуляра объекта в системе ПВО США «Сейдж»: *1* — условный номер самолета в наблюдаемой группе; *2* — условный номер цели; *3* — тип самолета.

Лит.: Соловейчик И. Е., Анищенко П. М., Знаковая индикация... (Краткий обзор работ, опубл. в заруб. печати в период 1947 — июль 1958 г.), М., 1959.

В. П. Исаев.

ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА при индукционном нагреве (thermo-chemical treatment by induction heating; traitement chimico-thermique avec chauffage à induction; chemisch-thermische Bearbeitung bei Induktionserwärmung) — диффузионное насыщение поверхности стальных изделий углеродом, азотом или др. элементами для повышения поверхностной твердости или сопротивления коррозии. Индукц. нагрев ускоряет процессы химико-термич. обработки, протекающие при нагреве в печи весьма медленно, а также облегчает механизацию и автоматизацию этих технологич. операций. X.-т. о. осуществляется при питании индуктора токами повышенной частоты (2000—8000 *гц*) от машинных генераторов или токами ВЧ (70 и более *кгц*) от ламповых генераторов.

Ускорение процесса достигается путем сокращения продолжительности нагревания изделия в данной среде с неск. час. до неск. мин., а также благодаря возможности повышения темп-ры процесса, вследствие отсутствия нагревателей и контейнеров, применяемых при нагреве в печи и изготовляемых из жароупорной стали. Вихревые токи, индуктируемые в поверхности обрабатываемых изделий, не оказывают ускоряющего действия на процесс диффузии при пост. темп-ре.

Наиболее широко используемым в пром. практике методом X.-т. о. стали как при нагреве в печи, так и при индукц. нагреве является цементация — процесс насыщения поверхности изделия углеродом. Несмотря на распространение метода поверхностной закалки после индукц. нагрева, цементация широко используется для упрочнения ответственных изделий, т. к. по сравнению с поверхностной закалкой позволяет получить бо́льшую твердость поверхности на рабочих участках изделий при более мягкой и вязкой сердцевине, а также удобна для обработки изделий сложной формы. Обычно при цементации стремятся получить глубину слоя в 0,5—2,0 *мм* при содержании углерода на поверхности ок. 1%. При выдержке в печи с темп-рой 900—920° длительность полного цикла цементации для получения глубины слоя 0,5—2,0 *мм* равна 4—24 час.; при цементации в твердых карбюризаторах длительность процесса примерно вдвое больше, чем при цементации в газовых средах. Цементация при индукц. нагреве может осуществляться при темп-ре до 1050—1080° и ее длительность при этом и при глубине слоя 0,5—2,0 *мм* составляет от 0,25 до 3 час. (примерно в 4—8 раз меньше, чем при нагреве в печи). Глубина цементованного слоя, получаемая при различных температурах и длительностях выдержки, может быть приближенно вычислена по ф-ле:

$$\delta = 500 \sqrt{\tau} \cdot 10^{-3500/T} \text{ мм},$$

где τ — продолжительность цементации (часы), T — абс. темп-ра процесса (°K).

Индукц. нагрев может быть использован для ускорения одного из самых медленных процессов X.-т. о.—азотирования. При выдержке изделия в печи с темп-рой 500—550° ср. скорость азотирования составляет 0,01—0,02 *мм/час*. Напр., для получения глубины слоя 0,2—0,25 *мм* требуется 10—20 час. При индукц. нагреве такая глубина слоя получается за 3—4 часа. Малые глубины азотированного слоя, порядка 0,02—0,05 *мм*, создаваемые для антикоррозионных целей, получаются при выдержке в печи в течение 1—2 час., тогда как при ВЧ нагреве такие же результаты могут быть достигнуты за 5—15 мин. Ускорение процесса при азотировании объясняется резким сокращением периода нагрева и создания необходимой среды, а также предпочтительным протеканием реакции разложения аммиака на поверхности изделий.

Индукц. нагрев опробован также для ускорения процессов цианирования и насыщения металлами и во всех случаях получены обнадеживающие результаты. Существенными препятствиями для его широкого внедрения являются трудности измерения и автоматич. стабилизации темп-ры при колебаниях электрич. режима, получения равномерной темп-ры в изделии или группе изделий в процессе выдержки, а также создания и поддержания постоянства состава газовых сред.

Лит.: Ассонов А. Д., Шепелляковский К. З., Ланкин П. А., «Металловедение и обработка металлов», 1955, № 3, с. 39; Головин Г. Ф., Замятин М. М., Высокочастотная термическая обработка. Вопросы металловедения и технологии, М.—Л., 1959. *М. М. Замятин.*

ХРОМАТОГРАФИЯ АВТОМАТИЧЕСКАЯ газовая (automatic chromatography; chromatographie automatique; automatische Chromatographie) —метод анализа сложных смесей газов, жидкостей и твердых веществ (аналитич. хроматография) или получения небольших количеств весьма чистых индивидуальных компонентов из сложных смесей (препаративная хроматография) в газовой подвижной фазе. Распространение получил проявительный метод (рис. 1), при к-ром через дозатор *1*, колонку *2* и датчик детектора *3* непрерывно пропускается поток малосорбируемого газа, называемого газом-носителем. С помощью дозатора *1* по команде оператора или автоматич. командного аппарата в поток газа-носителя вводится определ. проба анализируемого вещества, при этом путем выбора надлежащих условий опыта обеспечивается быстрое и полное испарение пробы (если анализируемое вещество — жидкость или твердое тело) и ее поддержание в газовой фазе во всех частях прибора. Изменение электрич. или механич. величин на выходе датчика *3* фиксируется регистратором *5*. В случае препаративной работы датчик детектора через соответствующую систему управляет ловушкой *4*, в к-рой выборочно накапливаются требующиеся компоненты. Используя адсорбцию на поверхности твердых тел, растворение в пленке жидкости или др. подобные процессы, в колонке *2* создают условия, при к-рых существует не равная нулю вероятность обратимого задерживания компонентов анализируемой смеси. Т. о., время пробега через колонку к.-л. компонента определяется выражением:

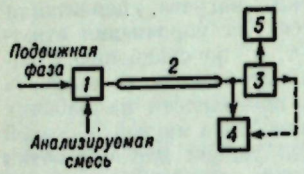


Рис. 1. Скелетная схема хроматографа.

$$t_k = t_0/(1-p_k),$$

где p_k — вероятность задерживания k-компонента; t_0 — время пробега через колонку не задерживаемого компонента. При движении через колонку компоненты с различной вероятностью задерживания разделятся и достигнут датчика детектора в разное время.

Гл. обр. применяется датчик детектора дифференциального типа, выходной сигнал к-рого пропорционален концентрации примеси компонента в газе-носителе. Выходной сигнал фиксируется регистратором на хроматограмме (рис. 2). Когда через датчик детектора проходит чистый газ-носитель, компоненты отсутствуют, регистратор чертит нулевую линию, к-рая не обязательно должна быть прямой.

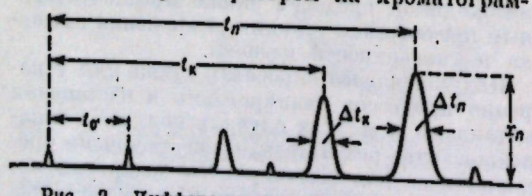


Рис. 2. Дифференциальная хроматограмма.

Для повышения чувствительности анализа и сокращения его времени часто оказывается полезным программировать условия опыта, изменяя в процессе опыта темп-ру колонки (термография [2]) или расход газа-носителя [5].

В табл. 1 указаны характерные величины, к-рые могут быть измерены на хроматограмме для каждого пика.

Табл. 1. Характеристика пиков на дифференциальной хроматограмме

Наименование	Обозначение и размерность	Определение или формула
Время удерживания k-компонента	t_k *мин*	Промежуток времени от подачи пробы на вход колонки до прохождения максимума пика у ее выход
Высота пика k-компонента	x_k *см*	Высота пика от ле левой линии до максимума
Площадь пика k-компонента	F_k *см²*	Площадь между кр вой пика и нуле линией
Ширина пика k-компонента	Δt_k *мин*	$\Delta t_k = F_k/x_k v_n$, где $v_n \frac{см}{мин}$ — скорос ленты регистрат
Ширина полосы k-компонента	μ_k *мсм³*	$\mu_k = \Delta t_k Q$*мсм³*, где $Q \frac{мсм^3}{мин}$ — объемн скорость (расх газа-носителя пр норм. условиях
Молярная концентрация компонента в максимуме пика	C_{mk}	$C_{mk} = x_k/S_k$, где $S_k \frac{см}{ма}$ — чувстви тельность систе датчик — регистр тор детектора к ному компонент
Объем компонента, отвечающий данному пику	g_k *мсм³*	$g_k = C_{mk}\,\mu_k$ *мсм³*
Вес компонента, отвечающий данному пику	q_k *мг*	$q_k = C_{mk}\frac{\mu_k M_k}{22{,}4}$ *м* где M_k — молекулярный вес комп нента

Т. о., если известны условия опыта и хар прибора, по хроматограмме можно определ количества всех компонентов в пробе и реша

Табл. 2. Характеристика опыта

Наименование	Обозначение и размерность	Определение или формула
Чувствительность системы датчик — регистратор детектора к k-компоненту	$S_k \frac{см}{Md}$	Отношение откло ния пера регистр тора к молярн концентрации ко понента в газе-но сителе
Коэфф. задерживания k-компонента	A_k	$A_k = t_k/t_0$, где t_k время пробега чер колонку неудер живаемого комп нента
Коэфф. обогащения k-компонента	O_k	$O_k = C_{mk}/C_{ok}$, где C_{ok} — молярная концентрация ко понента в анализ руемой смеси
Коэфф. разделения пиков n- и k-компонентов	h_{nk}	$h_{nk} = \frac{t_n - t_k}{\Delta t_n - \Delta t_k}$
Коэфф. размывания полосы k-компонента	D_k *мин*	$D_k = (\Delta t_k/t_k)^2 t_0$ *мин*

Табл. 3. Классификация хроматографов

Классификац. признаки	Пром. хроматографы	Контрольные лабораторные хроматографы	Универс. лабораторные хроматографы
Условия работы и установки прибора	Анализ продукта из технологич. потока. Установка прибора на технологич. объекте, часто во взрывоопасной среде	Анализ продуктов из переносных пробоотборников. Установка прибора в лаборатории	Условия отбора пробы не нормируются, часто проба имеется в микроколичествах. Установка прибора в лаборатории
Назначение анализа	Результат анализа используется для ручного или автоматич. управления ходом технологич. процесса по составу получаемого продукта	Результат анализа используется для контроля состава продуктов и полупродуктов на соответствие технич. требованиям	В результате анализа определяется состав анализируемого вещества. Данные анализов используются для исследоват. целей
Количество определяемых компонентов	Определяется один или неск. «ключевых» компонентов. Состав продукта по неключевым компонентам не представляет интереса	Определяется один или неск. «ключевых» компонентов. Состав продукта по неключевым компонентам не представляет интереса	Количество определяемых компонентов не ограничивается. Как правило, определяются все компоненты смеси
Необходимость идентификации определяемых компонентов	При норм. эксплуатации прибора необходимость идентификации компонентов не возникает	При норм. эксплуатации прибора необходимость идентификации компонентов возникает очень редко	Задача идентификации компонентов анализируемой смеси возникает часто
Необходимость перестройки режима работы прибора	При норм. эксплуатации прибора его режим работы остается постоянным	При норм. эксплуатации прибора перестройка режима производится очень редко	Перестройка режима работы прибора производится часто
Необходимость препаративной работы	Надобность в препаративной работе прибора никогда не возникает	Надобность в препаративной работе прибора возникает редко	Надобность в препаративной работе прибора возникает систематически

задачу анализа. Параметры опыта можно характеризовать комплексом величин, приведенных в табл. 2.

По назначению и условиям работы хроматографы разделяются на три группы: промышленные, контрольные лабораторные, универсальные лабораторные. Осн. классификац. признаки этих групп приборов приведены в табл. 3.

Лит.: 1) Шай Г., Теоретические основы хроматографии газов, пер. с нем., М., 1963; 2) Жуховицкий А. А., Туркельтауб Н. М., Газовая хроматография, М., 1962; 3) Жуховицкий А. А. [и др.], «ЗЛ», 1963, т. 29, № 10; 4) Альтшулер О. Б. [и др.], «ДАН СССР», 1963, № 4, с. 892; 5) Neto C. Costa, Köffer J. T., Alencar J. W. de, «J. Chromatography», 1964, v. 15, № 3; 6) Ayers B. O., Loyd R. J., Ford D. D. de, «Analyt. Chem.», 1961, v. 33, № 8, p. 986; 7) Porter R. S. [a. o.], там же, 1964, v. 36, № 2, p. 260. *А. А. Жуховицкий.*

Ц

ЦЕЛЕВАЯ ФУНКЦИЯ [target function; fonction finalisée (fonction à but final); Zielfunktion] — численная хар-ка, позволяющая оценить степень соответствия принятого решения цели, ради достижения к-рой производится сравнение и выбор различных линий поведения (планов, команд, графиков, параметров управления и т. д.).

Каждая задача планирования и управления может быть решена различными путями. Чтобы выбрать лучший план, лучший график, лучшую систему команд или лучшую структуру управления, необходимо установить точный смысл, вкладываемый в термин «лучший». В простых задачах интуитивные представления о качестве плана или системы управления позволяют предпочесть один план другому и одну систему управления другой. В сложных задачах, в к-рых необходимо учитывать большое количество подчас противоречивых факторов (см. *Сложные системы*), интуиция и опыт далеко не всегда приводят к рациональному решению, если они не подкреплены соответствующими расчетами.

Чтобы иметь количеств. основания предпочитать одни решения другим, необходимо упорядочить допустимые планы, графики, команды или системы управления, т. е. необходимо привести в соответствие каждому решению число, позволяющее сравнивать решения между собой и оценивать целесообразность замены одного из них другим. Так, при разработке перспективного плана развития нар. х-ва возникает задача установления рациональных пропорций между различными отраслями произ-ва. Разные решения этого важнейшего вопроса определяют разные пути развития экономики страны. Поэтому выбор решения следует связывать с осн. целью социалистич. экономики — с макс. удовлетворением потребностей трудящихся. Предпочтения населения позволяют свести всю совокупность показателей потребления к одному обобщенному показателю — к Ц. ф. потребления.

Аналогичным образом выбираются Ц. ф. в др. областях человеч. деятельности. При управлении военными действиями Ц. ф. определяется характером боевых операций: Ц. ф. наступат. действий — размеры ожидаемых потерь противника; Ц. ф. оборонит. действий — ожидаемая величина предотвращенного ущерба.

В задачах планирования произ-ва и управления технологич. процессами под Ц. ф. понимают важнейшую хар-ку качества плана или управления, определяемую конкретными условиями произ-ва.

Выбор Ц. ф.— один из наиболее ответств. этапов в построении математич. моделей задач управления и планирования. Часто к плану или к системе управления предъявляются различные, иногда противоречивые требования. Как правило, невозможно получить решение, к-рое одновременно было бы лучшим в смысле каждого требования. Поэтому важно оценить, какие из требований следует отнести к ограничениям на выбор решения и какое из них должно служить Ц. ф. В качестве ограничений используются те хар-ки плана или системы управления, от к-рых в данных условиях достаточно потребовать, чтобы их числ. значения не выходили из нек-рого заранее заданного диапазона. Важнейшая в условиях рассматриваемой задачи хар-ка решения принимается в качестве Ц. ф. Сравнению подлежат лишь допустимые планы или системы управления, т. е. планы или системы управления, удовлетворяющие принятым ограничениям (хар-ки к-рых находятся в заданной области). Лучшим является допустимое решение, на к-ром достигается максимум или минимум (в зависимости от постановки задачи) Ц. ф.

Составляя, напр., план произ-ва, желательно распорядиться своими возможностями так, чтобы такие хар-ки, как производительность и прибыль, достигали возможно большей величины, а себестоимость, время на произ-во заданного объема продукции, расход сырья и энергии были бы возможно меньшими. В принципе каждая из перечисл. хар-к может быть принята в качестве Ц. ф. плана, а для всех остальных хар-к могут быть заданы допустимые диапазоны их изменения. Однако связь и взаимодействие произ-ва, для к-рого составляется план, с др. пр-тиями и общей экономич. ситуация в районе или в стране дают каждый раз основания предпочесть одну из этих хар-к всем остальным. Напр., в тех случаях, когда рассматриваемое произ-во — единств. пр-тие, обеспечивающее потребности района в нек-ром необходимом продукте, Ц. ф. плана естественно считать производительность пр-тия и добиваться макс. уровня выпускаемой продукции в фиксиров. сроки. Если пр-тие, к-рое должно обеспечивать важные стройки, задерживает их развертывание, следует в качестве Ц. ф. плана избрать сроки выпуска продукции и, несмотря на эко-

раты, добиваться доставки продукции заказчикам в миним. сроки. Если пр-тие использует лимитируемое сырье, необходимое для работы других, более важных отраслей х-ва, естественно строить план, исходя из стремления обеспечить выпуск заданного объема продукции при миним. расходе лимитируемого сырья. Аналогичным образом при работе в условиях острой нехватки энергии Ц. ф. плана — расход энергии на единицу продукции при допустимых сроках выпуска заданного объема продукции.

В общем случае при отсутствии спец. условий, вынуждающих выделять др. хар-ки, выбирают в качестве Ц. ф. плана себестоимость продукции, задавая объем выпуска продукции в единицу времени и ограничения по сырью, энергии и др. производств. факторам.

Аналогичные соображения можно привести относительно выбора Ц. ф. и ограничений системы автоматизации управления различными технологич. процессами на произ-ве.

В лит. используются различные синонимы термина «Ц. ф.». В частности, тот же смысл вкладывается в понятия «критерий качества», «показатель полезности», «экономич. функция» и др.

Лит.: Юдин Д. Б., Гольштейн Е. Г., Задачи и методы линейного программирования, М., 1961.

Д. Б. Юдин.

ЦЕЛОЧИСЛЕННОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ (integer programming; programmation à nombres entiers; ganzzahliges Programmieren) — методы решения задач *математического программирования*, условия к-рых дополнены требованием целочисленности всех или нек-рых переменных. Единственным сравнительно разработанным разделом Ц. п. является целочисл. линейное программирование (ЦЛП). Общая задача ЦЛП состоит в максимизации (или минимизации) произвольной линейной формы переменных $x_1, x_2, \ldots, x_n$, связанных системой линейных ограничений (равенств или неравенств) и удовлетворяющих требованию целочисленности:

x_j — целое число для $j = 1, 2, \ldots, n_1 \leqslant n$. (1)

Если условия (1) относятся только к части переменных x_j ($n_1 < n$), то соответствующая модель наз. задачей частично ЦЛП. Интерес, к-рый проявляется в настоящее время к ЦЛП, объясняется обилием практич. задач, укладывающихся в схему целочисл. линейных моделей. В терминах ЦЛП формулируются мн. трудные проблемы, методы решения к-рых еще мало разработаны.

Приложения ЦЛП можно разделить на 3 группы: 1) задачи, представляющие собой математич. описание явлений, включающих неделимые объекты (заводы, вагоны, самолеты и т. п.); 2) задачи комбинаторного типа и 3) нелинейные задачи, не укладывающиеся в рамки *выпуклого программирования*.

Примеры практич. задач, относящихся к каждой из трех групп приложений. 1) В ряде случаев физич. смысл переменных задачи требует, чтобы они принимали только целые значения. При планировании застройки новых районов очень важно правильно выбрать соотношения между домами различного типа. Допустим, что потребность в квартирах i-того типа задается числом b_i, причем в одном доме j-того типа имеется a_{ij} квартир i-того типа. Стоимость строительства одного дома j-того типа составляет c_j денежных единиц. Число x_j домов j-того типа, к-рые следует построить в данном районе ($j = 1, 2, \ldots, n$), определятся в результате решения задачи, состоящей в минимизации общих затрат

$$\sum_{j=1}^{n} c_j x_j \qquad (2)$$

при условии удовлетворения потребностей района в квартирах различного типа

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \geqslant b_j, \quad i = 1, 2, \ldots, m \qquad (3)$$

и естеств. ограничениях

$$x_j \geqslant 0, \quad j = 1, 2, \ldots, n. \qquad (4)$$

Дробные значения переменных x_j в данной задаче не могут быть реализованы. Поэтому условия (3) — (4) должны быть дополнены след. требованием:

x_j — целое число для $j = 1, 2, \ldots, n$. (5)

Задача (2) — (5) — модель ЦЛП.

Встречаются задачи, параметры управления к-рых имеют естеств. логич. смысл. Чаще всего логич. параметры могут принимать всего 2 значения: 0 или 1. Первое значение параметра указывает на то, что данное высказывание не имеет места, второе — на справедливость высказывания.

Ряд практич. задач, таких, как размещение оборудования на самолете или в ракете, компактная укладка разнородного оборудования и т. п., сводится к следующей схеме. Задано n предметов оборудования, каждый из к-рых характеризуется определенным коэфф. полезности. В различных приложениях коэфф. полезности связан с различными качествами предметов (стоимость, калорийность, эффективность применения и т. д.), но единств. требование к нему заключается в том, чтобы общая полезность неск. предметов равнялась сумме коэфф. полезности каждого из них. Существует ряд ограничений на выбор предметов оборудования: вес, объем, отдельные линейные размеры и т. п. Пусть x_j равно 1, если j-тый предмет принимается к укладке, и равно 0 в противном случае. Пусть c_j — значение коэфф. полезности j-того предмета ($j = 1, 2, \ldots, n$), b_i — ограничение по i-той хар-ке выбора ($i = 1, 2, \ldots, m$), a_{ij} — значение i-той хар-ки j-того предмета. Для того чтобы определить такое размещение предметов, при к-ром соблюдаются ограничения по всем хар-кам и суммарная полезность уложенного оборудования достигает максимума, необходимо максимизировать линейную форму

$$\sum_{j=1}^{n} c_j x_j \qquad (6)$$

при условиях

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \leqslant b_i, \quad i = 1, 2, \ldots, m; \qquad (7)$$

$$0 \leqslant x_j \leqslant 1, \quad j = 1, 2, \ldots, n. \qquad (8)$$

Линейные условия (7) — (8), вообще говоря, не обеспечивают равенства каждого из x_j нулю или единице. Следовательно, их необходимо дополнить требованием

x_j — целое число для $j = 1, 2, \ldots, n$. (9)

Получили задачу ЦЛП. Частный случай задачи (6) — (9), при $m = 1$, т. н. задача о рюкзаке, является одной из наиболее ранних задач Ц. п.

2) Под экстремальной задачей комбинаторного типа принято понимать любую задачу, в которой требуется среди конечного числа вариантов выбрать экстремальное значение фиксированной целевой функции. Задачи комбинаторного типа, представляющие практический интерес, обычно имеют столь огромное число возможных вариантов, что решение их путем прямого перебора непосильно даже для ЦВМ обозримого будущего. Многие важные комбинаторные задачи удается свести к ЦЛП. В частности, это относится к общей задаче *расписаний теории*, точных методов решения к-рой до сих пор не существует.

Другой пример — задача коммивояжера. Сущность этой задачи состоит в следующем. Имеется n пунктов, причем известно, что на переезд из i-того пункта в j-тый затрачивается t_{ij} единиц времени. Перед коммивояжером, к-рый находится в одном из пунктов, стоит задача объехать все пункты, побывав в каждом ровно один раз, вернуться в исходный пункт и затратить на это минимально возможное время. Это — типичная комбинаторная задача с числом вариантов, равным $(n-1)!$ Отождествим каждый вариант с системой чисел x_{ij} $(i \neq j)$, положив x_{ij} равным 1 или 0 в зависимости от того, выезжает ли коммивояжер из i-того пункта в j-тый или нет. Кроме того, свяжем с i-тым пунктом переменное u_i $(i = 1, 2, \ldots, n-1)$. Задача коммивояжера сводится к задаче ЦЛП, заключающейся в минимизации линейной формы

$$\sum_{j=1}^{n} \sum_{i \neq j} t_{ij} x_{ij}$$

при условиях

$$\sum_{j \neq i} x_{ij} = 1, \quad \sum_{i \neq j} x_{ij} = 1, \quad i, j = 1, 2, \ldots, n,$$

$$x_{ij} \geqslant 0, \quad i, j = 1, 2, \ldots, n;$$

$$u_j - u_i + (n-1) x_{ij} \leqslant n-2, \quad i, j = 1, 2, \ldots, n-1, \quad i \neq j$$

и требовании целочисленности для всех переменных x_{ij} и u_i.

3) Бо́льшая часть методов решения нелинейных условно экстремальных задач приспособлена для анализа задач выпуклого программирования. Поэтому весьма перспективна возможность сведе́ния ряда невыпуклых условно экстремальных задач к моделям ЦЛП. В этой связи интересна задача размещения (см. *Размещения задача*, где дана ее целочисленная постановка). В ряде случаев введение целочисл. переменных позволяет с помощью системы линейных ограничений задать множества, не обладающие св-вом выпуклости. Пусть, напр., M — объединение двух выпуклых многогранников, системы ограничений к-рых соответственно имеют вид

$$L_i^{(1)}(X) = \sum_{j=1}^{n} a_{ij}^{(1)} x_j \leqslant b_i^{(1)}, \quad i = 1, 2, \ldots, m_1;$$

$$L_i^{(2)}(X) = \sum_{j=1}^{n} a_{ij}^{(2)} x_j \leqslant b_i^{(2)}, \quad i = 1, 2, \ldots, m_2.$$

Если выбрать число b из условий

$$\left.\begin{aligned} \max_{X \in M} L_i^{(1)}(X) &\leqslant b_i^{(1)} + b, \quad i = 1, 2, \ldots, m_1; \\ \max_{X \in M} L_i^{(2)}(X) &\leqslant b_i^{(2)} + b, \quad i = 1, 2, \ldots, m_2, \end{aligned}\right\}$$

то невыпуклый многогранник M определяется системой ограничений

$$L_i^{(1)}(X) \leqslant b_i^{(1)} + b\delta, \quad i = 1, 2, \ldots, m_1;$$

$$L_i^{(2)}(X) \leqslant b_i^{(2)} + b(1-\delta), \quad i = 1, 2, \ldots, m_2;$$

$$0 \leqslant \delta \leqslant 1;$$

δ — целое число.

На первый взгляд может показаться, что естеств. путь анализа задачи ЦЛП состоит в решении соответствующей линейной задачи с последующим округлением компонент ее оптимального плана до ближайших целых чисел. Тем не менее такой путь в большинстве случаев не только уводит от оптимума, но даже не дает плана задачи. Задачи ЦЛП требуют спец. методов анализа. В основе большинства методов ЦЛП лежит следующая идея.

Допустим, что необходимо решить нек-рую задачу ЦЛП. Отказавшись на время от условий целочисленности, найдем оптимальный план линейной задачи. Может случиться, что этот план удовлетворяет также и условиям целочисленности и, следовательно, является искомым решением. Вероятнее же, что полученный план не будет подчиняться требованиям целочисленности. Тогда предлагается сформировать дополнит. линейное ограничение, к-рому удовлетворяет любой целочисленный (или частично целочисленный) план задачи, но заведомо не удовлетворяет найденное решение. С геометрич. точки зрения эта операция означает построение гиперплоскости, к-рая строго разделяет фиксиров. вершину выпуклого многогранника и точки этого множества, имеющие целые координаты. Система линейных ограничений задачи дополняется новым условием, после чего разыскивается решение полученной линейной задачи. Если оно удовлетворяет требованиям целочисленности, то является искомым решением задачи ЦЛП. В противном случае строится новое линейное дополнит. ограничение, отсекающее полученное решение и не затрагивающее целочисленных планов, и весь процесс повторяется. Если правило формирования дополнит. ограничений разработано удовлетворительно, то через неск. больших *итераций* будет найдено решение задачи ЦЛП, либо очередная система линейных ограничений окажется противоречивой, т. е. будет зафиксирована неразрешимость задачи.

Правило формирования дополнит. ограничений. Предположим, что каждое неизвестное задачи подвергнено требованию целочисленности. Пусть x_{ij} $(i = 1, 2, \ldots, m;\ j = 0, 1, \ldots, n)$ и $\Delta j = x_{0j}$ $(j = 0, 1, \ldots, n)$ — параметры оптимальной таблицы линейной задачи, в к-рой не учитывается требование целочисленности. Обозначим через $[x_{ij}]$ целую часть x_{ij}, т. е. наибольшее целое число, не превосходящее x_{ij}; $\forall ij = x_{ij} - [x_{ij}]$ — дробная часть числа x_{ij}. Дополнит. ограничение определяется одной из строк таблицы, содержащих дробные значения x_{ij}. Если в качестве такой строки выбрана l-тая, то дополнит. ограничение записывается в виде

$$\sum_{j \in J} \delta_{lj} x_j - x_{n+1} = \gamma_{l0}, \quad x_{n+1} \geqslant 0,$$

где J — номера векторов условий, не входящих в оптимальный базис; x_{n+1} — дополнит. переменное,

$$\delta_{lj} = \begin{cases} \gamma_{lj}, & \text{если } \gamma_{lj} \leqslant \gamma_{l0}, \\ \dfrac{\gamma_{l0}}{1-\gamma_{l0}}(1-\gamma_{lj}), & \text{если } \gamma_{lj} > \gamma_{l0}. \end{cases}$$

Показано, что сформулированное правило приводит к конечному методу Ц. п.

Решение линейных задач в каждой большой итерации осуществляется методом уточнения оценок (см. *Линейное программирование*), поскольку этот метод обеспечивает возможность использования оптимальной таблицы предыдущей задачи в качестве нач. таблицы для последующей задачи. Число строк промежуточных таблиц не может превзойти $n + 1$: как только одна из дополнит. переменных становится базисной, соответствующая строка таблицы вычеркивается. Этот метод распространяется и на задачи частично ЦЛП. В этом случае коэфф. δ_{lj} подсчитывается по ф-ле

$$\delta_{lj} = \begin{cases} x_{lj}, & \text{если } j > n_1, \ x_{lj} \geqslant 0, \\ -\dfrac{\gamma_{l0}}{1-\gamma_{l0}} x_{lj}, & \text{если } j > n_1, \ x_{lj} < 0, \\ \gamma_{lj}, & \text{если } j \leqslant n_1, \ \gamma_{lj} \leqslant \gamma_{l0}, \\ \dfrac{\gamma_{l0}}{1-\gamma_{l0}}(1-\gamma_{lj}), & \text{если } j \leqslant n_1, \ \gamma_{lj} > \gamma_{l0}. \end{cases}$$

Здесь n_1 определяется соотношением (1).

Для решения отдельных классов задач ЦЛП с успехом применяется осн. идея *динамического программирования*. Это относится, в частности, к упомянутой выше задаче о рюкзаке. То же справедливо для задачи рационального размещения оборудования, если $m \leqslant 3$.

Известные методы ЦЛП позволяют решать сравнительно небольшие задачи, поскольку число итераций для задач даже среднего объема может быть чрезвычайно велико. Вот почему методы ЦЛП нуждаются в дальнейшем совершенствовании и развитии. Еще в большей степени это относится к методам нелинейного Ц. п., к-рые находятся в зачаточном состоянии. Актуальность и трудность проблематики делают Ц. п. одним из наиболее перспективных и интересных направлений математич. программирования.

Лит.: Simonnard M., Programmation linéaire, P., 1962.

Е. Г. Гольштейн.

ЦЕНА ДЕЛЕНИЯ ШКАЛЫ (scale factor; valeur d'une division d'échelle; Skalenfaktor) — см. *Шкалы деление*.

ЦЕНА ИГРЫ (value of the game; prix du jeu; Spielwert) — см. *Игр теория*.

ЦЕНТРОТЕХНИКА («centrotechnics»; technique de centralisation; Zentralisierung automatischer Steuerungsvorgange) — система централизованного контроля и управления. Разработана в Моск. энергетич. ин-те. Иногда под Ц. понимают системы автоматич. централизованного контроля, управления и учета, характеризующиеся сложной иерархич. структурой с неск. ступенями централизации. Система «Центротехника-3», предназначенная для использования при автоматизации сложных производств, имеет трехступенчатую структуру (рис. 1). В основу ее положен принцип кодовой развертки, реализуемый посредством центрального узла разверток *ЦУР*, линии бинарной развертки *ЛБР*, линии переключения датчиков *ЛПД*, преобразователей цифра-аналог *П*, нуль-органов *Н* и декадно-матричных коммутаторов *К*. Узел *ЦУР* циклически коммутирует линии связи (либо часто́ты) двоичных и десятичных разрядов, обеспечивая соответственно по линии *ЛБР* развертку S значений величин x, а по линии *ЛПД* — обегание $N(t)$ датчиков *Д*. Синхронная развертка значений $S(t)$ и адресов (датчиков) $N(t)$ производится во всех цеховых центрах *ЦЦ* и в реализующих устройствах заводского центра *ЦЗ*: в центральной информац. машине *ЦИМ* и в центральной (цифровой) вычислительной

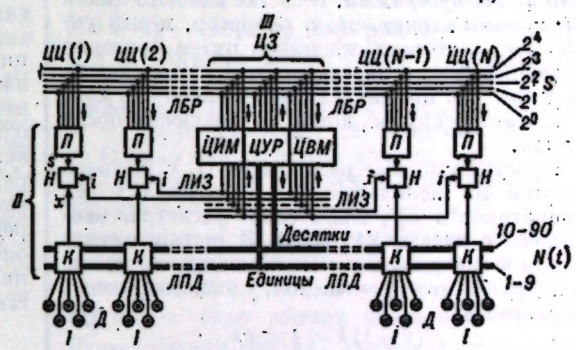


Рис. 1. Структурная схема системы централизованного контроля и управления «Центротехника-3».

машине *ЦВМ*. Тогда достаточно передавать единичные импульсы i для фиксирования в *ЦИМ* и *ЦВМ* воспринятых значений. Если, напр., нужна графич. (аналоговая) регистра-

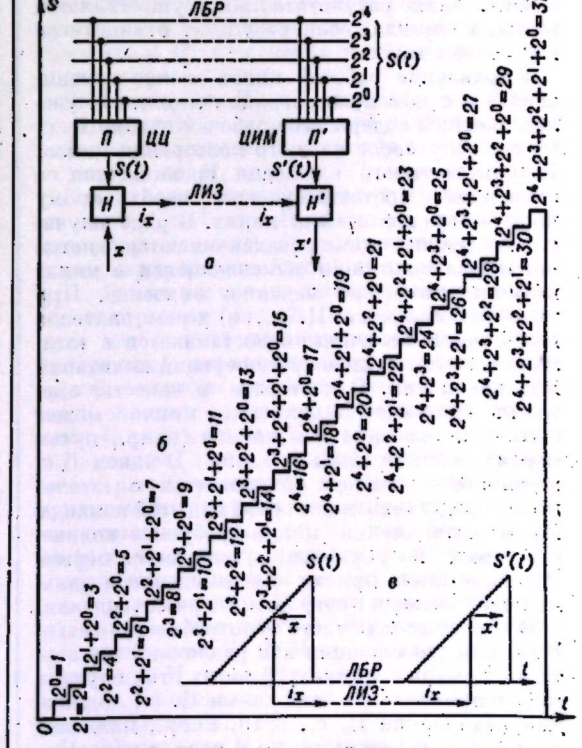


Рис. 2. Принцип кодовой развертки.

ция в *ЦИМ* (рис. 2), то импульс i_x застает через ключ Π' значение x' воспроизводящей ф-ции $S'(t)$.

Для ввода в *ЦВМ* данных в двоичном коде достаточно открыть разрядные ключи Π', не применяя Π'.

Лит.: «Тр. Моск. энерг. ин-та», 1962, вып. 44; 1963, вып. 52.

Ф. Е. Темников.

ЦИКЛОВ СЧЕТЧИКИ (cycle counteurs; compteurs de cycles; Zyklenzählwerke) — совокупность команд программы и некоторого количества рабочих ячеек, предназначенная для подсчета и фиксации количества выполнений *цикла программы*. В состав каждого цикла программы входит логич. оператор, к-рый управляет повторениями цикла путем проверки значений Ц. с. и передачи управления начальной команде цикла, если он не закончен, или, в противном случае, команде, следующей после цикла.

Простые способы реализации Ц. с. основываются на использовании либо двух ячеек оперативного ЗУ, либо спец. регистра, входящего в состав УУ ЦВМ. В первом случае в одной из ячеек, $\alpha+1$, записывается число k, в другой, $\alpha+2$, — число l, удовлетворяющее неравенству

$$(n-1)\,k < l \leqslant nk,$$

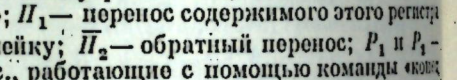
где k, l, n — целые положит. числа и n — заданное количество повторений цикла (часто принимают $l = n$, $k = 1$). Совокупностью команд, расположенных в конце циклич. участка программы, выполняются операции вычитания $(\alpha+2)-(\alpha+1)$, записи получ. результата в ячейку $\alpha+2$ и проверки знака числа $(\alpha+2)$. По команде условного перехода управление передается начальной команде цикла при положит. знаке результата либо осуществляется выход из цикла, если результат отрицателен или равен нулю.

Управление работой цикла можно организовать и с помощью операции сложения, увеличивающей содержимое рабочей ячейки Ц. с. на единицу после каждого повторения цикла. Результат такого сложения сравнивается со значением, соответствующим необходимому количеству повторений цикла. В ряде случаев повторения цикла заканчиваются, когда некоторая монотонно изменяющаяся в цикле величина перейдет заданное значение. При этом используется Ц. с., в к-ром значение изменяемой величины сопоставляется с «эталоном» путем применения операций вычитания или сравнения. В частности, в качестве элемента счетчика выполнений цикла может быть использована изменяемая (напр., путем переадресации) команда цикла. В таком Ц.с. изменяемая команда сравнивается с «эталоном», представляющим собой вид этой команды после выполнения цикла требуемое количество раз, и управление передается первой команде цикла при их несовпадении и дальнейшей команде программы—при совпадении.

В программах часто употребляется неск. Ц. с. для организации как различных циклов, так и циклов в циклах. Во всех этих случаях могут применяться описанные Ц. с., однако для реализации Ц. с., если, напр., цикл выполняется многократно по n раз, необходимо использовать дополнит. ячейки памяти, к-рые хранят «константы восстановления цикла», и группу не входящих в состав цикла команд, к-рые переносят эти константы в рабочие ячейки Ц. с.

С целью уменьшения количества команд в времени работы программы в УУ нек-рых ЦВМ включаются спец. блоки, позволяющие осуществлять автоматич. переадресацию команд и схемно реализовать Ц. с. При этом вводятся две команды: «начало цикла» и «конец цикла». При выполнении первой из них на спец. регистр — «счетчик циклов», записывается n — число повторений цикла. По второй команде, устанавливаемой в конце цикличного участка программы, вычитается единица и проверяется результат. Если результат равен нулю, то цикл заканчивается, в противном случае переходят на повторение цикла.

Для организации различных циклов и циклов в циклах при схемном решении Ц. с. часто для удобства программирования применяют либо неск. таких регистров, могущих одновременно хранить неск. чисел, показывающих количество оставшихся повторений различных циклов, либо (при наличии одного регистра) спец. команды, по к-рым содержимое регистра может быть перенесено в ячейку оперативного ЗУ и обратно. Тогда цикл в цикле можно представить в виде *логической схемы программы*:



где H_1 и H_2 — запись числа повторений «внешнего» и «внутреннего» циклов на «счетчик циклов»; Π_1 — перенос содержимого этого регистра в ячейку; $\overline{\Pi}_2$ — обратный перенос; P_1 и P_2 — Ц. с., работающие с помощью команды «конец цикла»; A_1 и A_3 — операторы, входящие в «внешний» цикл; A_2 — оператор «внутреннего» цикла.

Кроме описанных Ц. с., применяются нек-рые специальные, позволяющие выполнять цикл только два или три раза, а также Ц. с., реализуемые с помощью логич. шкал (см. *Логическая шкала*), представляющих собой специально подобранный набор нулей и единиц, помещаемый в нек-рой ячейке ЗУ. В конце цикла имеются команды, проверяющие значение, напр., крайнего левого разряда ячейки, хранящей логич. шкалу, и передающие управление в зависимости от этого значения либо на повторение цикла, либо на его окончание. После каждого повторения цикла шкала сдвигается на один разряд влево. Ц. с. с использованием логич. шкал позволяет получить гибкость в управлении количеством повторений цикла.

Лит.: Китов А. И., Криницкий Н. А., Электронные цифровые машины и программирование, 2 изд., М., 1961; Криницкий Н. А., Мирон Г. А., Фролов Г. Д., Программирование, М., 1963.

С. А. Беляев, Г. А. Мирон.

ЦИКЛЫ ПРОГРАММ (programme cycles; cycles de programmes; Programmzyklen) — группы связанных по управлению команд программы, составленные с расчетом на возможность многократного выполнения их ЭВМ. Две команды программы наз. связанными по управлению, если одна из них обеспечивает условный или безусловный переход к другой. Ц. п.— важнейшие части программ, а построение Ц. п.— один из наиболее распространенных приемов программирования.

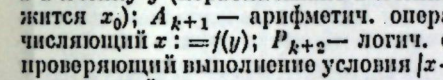
Структура Ц. п. Команды программы, не принадлежащие Ц. п., образуют вне т. н. внешнюю область. Команды Ц. п., к-рым возможен условный или безусловный

переход из внешней области, а также нач. команда программы (если она принадлежит Ц. п.) наз. входами в Ц. п. Команды Ц. п., к-рые допускают условный или безусловный переход во внешнюю область или предусматривают останов машины, наз. выходами из Ц. п. Те команды Ц. п., к-рые допускают условный переход к неск. командам, входящим в Ц. п., наз. разветвлениями Ц. п. Простейшими являются Ц. п., к-рые не содержат разветвлений и имеют по одному входу и выходу; к ним относятся итерационные Ц. п., Ц. п. с циркуляцией и Ц. п. с переадресацией.

Примеры простейших циклов. 1) Если для решения задачи нужен корень ур-ния

$$x = f(x), \qquad (1)$$

причем приближ. значение корня x_0 заранее известно и абс. погрешность решения не должна превышать малого положит. числа ε, то в состав программы можно включить Ц. п., предусматривающий решение ур-ния (1) методом итераций (отсюда название «итерационные» для Ц. п. такого типа). Схема Ц. п. при этом может иметь вид (см. *Логическая схема программы*)



где Π_k — оператор переноса числа из ячейки x в ячейку y (первоначально в ячейке x содержится x_0); A_{k+1} — арифметич. оператор, вычисляющий $x := f(y)$; P_{k+2} — логич. оператор, проверяющий выполнение условия $|x-y| < \varepsilon$ и передающий при его невыполнении управление оператору Π_k, в противном случае — во внешнюю область. Знак $:=$ наз. знаком присваивания и означает, что в ячейку, указанную слева от него, записывается значение выражения, стоящего справа от него.

2) Если в процессе решения задачи необходимо вычислить значения $y_1, y_2, \ldots, y_n$ ф-ции $y=\varphi(x)$, соответствующие заданным значениям $x_1, x_2, \ldots, x_n$ независимого переменного, то в состав программы можно включить Ц. п., имеющий схему $A_k \Pi_{k+1} P_{k+2} \rightarrow$ или $\left\{ A_k \Pi_{k+1} P_{k+2} \right\}$ и относящийся к виду Ц. п. с циркуляцией (название происходит от присутствия в Ц. п. оператора циркуляции Π; см. *Циркуляция* величин в стандартных ячейках). Здесь A_k — оператор, производящий вычисления по ф-лам:

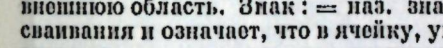
$$x_1 := \varphi(x),$$
$$a := a+1,$$

т. е. по значению величины x, стоящему в ячейке x_1, вычисляющий величину y и записывающий ее в ячейку x_1 и увеличивающий на единицу содержимое ячейки a; Π_{k+1} — оператор циркуляции, работа к-рого описывается ф-лами:

$$b := x_1,$$
$$x_1 := x_2,$$
$$x_2 := x_3,$$
$$\ldots\ldots\ldots$$
$$x_{n-1} := x_n,$$
$$x_n := b$$

и сводится к циклич. перестановке содержимого ячеек $x_1, x_2, \ldots, x_n$; P_{k+2} — логич. оператор, проверяющий условие $a = n$ и передающий управление при его невыполнении оператору A_k, а при выполнении — во внешнюю область цикла. Первоначальное значение содержимого ячейки a должно быть равно нулю. Описанный цикл будет выполняться n раз, после чего в ячейках $x_1, x_2, \ldots, x_n$ будут записаны соответственно величины $y_1, y_2, \ldots, y_n$.

3) Для задачи, сформулированной в п. 2, вместо Ц. п. с циркуляцией в состав программы может быть включен Ц. п. с переадресацией, имеющий схему



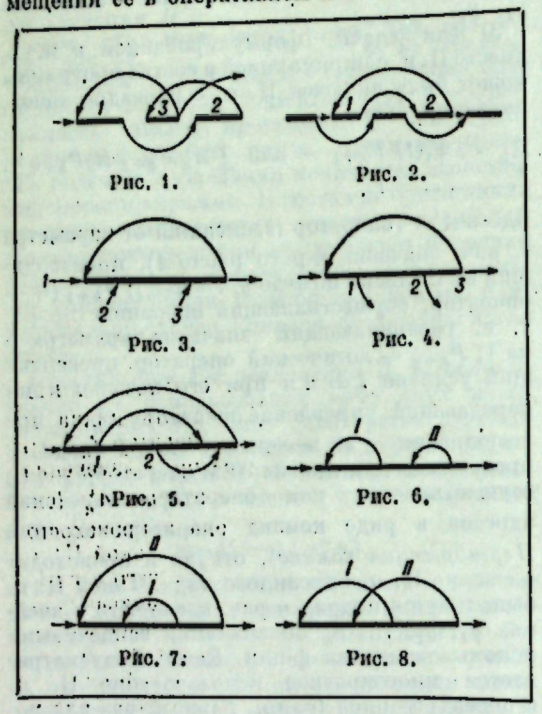
Здесь A_k^i — оператор (зависящий от параметра i, нач. значение к-рого равно 1), производящий вычисления по ф-ле $y_i := \varphi(x_i)$; $F_{k+1}(i)$ — оператор, осуществляющий операцию $i := i+1$, т. е. увеличивающий значение параметра i на 1; P_{k+2} — логический оператор, проверяющий условие $i = n$ и при его невыполнении передающий управление оператору A_k^i, а при выполнении — во внешнюю область цикла. В программах для многих ЭВМ оператор $F_{k+1}(i)$ осуществляется как оператор изменения адресов в ряде команд оператора A_k^i (см. *Переадресация команд*), откуда и происходит название Ц. п. описанного вида. Такой Ц. п. выполняется подряд n раз, после чего в ячейках $y_1, y_2, \ldots, y_n$ оказываются записанными искомые значения ф-ции. Если предусматривается многократное использование Ц. п. с переадресацией (напр., каждый раз для нового набора значений независимого переменного), то в программе используют оператор $0(i)$, к-рый «восстанавливает» нач. значение параметра i (см. *Восстановление команд в программах*). В подобных случаях принято говорить о Ц. п. с переадресацией и восстановлением.

Выходами из Ц. п. являются заключит. команды логич. операторов. О различных способах осуществления повторения команд цикла и выхода из Ц. п. см. *Циклов счетчики*.

Кроме простейших, могут встречаться более сложные Ц. п. Напр., Ц. п. могут распадаться на подгруппы команд, расположенные не в порядке передачи управления от одной к другой (рис. 1) или расположенные в различных местах программы (рис. 2) (на рис. жирной линией изображена последовательность команд программы, передающих управление одна другой в порядке их расположения в программе, а тонкими линиями, снабженными стрелками,— условные и безусловные переходы к командам, к-рые не являются непосредственно расположенными за командами, передающими им управление). Возможны Ц. п. с многими входами (рис. 3), многими выходами (рис. 4), с внутр. разветвлениями (рис. 5), с одноврем. наличием многих входов, выходов и разветвлений. В более или менее сложных программах обычно присутствует большое количество Ц. п. По взаимному расположению два Ц. п. могут быть изолированными (рис. 6), вложенными (рис. 7) или пересекающимися (рис. 8).

Часто наличие Ц. п. связано с особенностями вычислит. процесса, к-рый должен быть осуществлен для решения задачи (напр., вычислит. процесс предусматривает повторные расчеты по одной или неск. ф-лам и т. п.). Однако в ряде случаев Ц. п. возникают как

результат усилий, направленных на сокращение числа команд программы для ее размещения целиком в оперативной памяти машины или, если это невозможно, то для такого размещения ее в оперативном и во внешнем ЗУ,



при к-ром расход машинного времени на обращения к внешнему ЗУ был бы по возможности небольшим. В последних случаях в состав программы могут включаться операторы формирования, к-рые при своем выполнении преобразуют имеющиеся в ней Ц. п. в новые или даже преобразуют линейные участки программы в Ц. п. путем внесения в программу новых команд условного или безусловного перехода. Если при программировании используются подобные приемы, то по нач. виду программы (т. е. по виду, к-рый она имеет до начала ее выполнения машиной) не всегда можно судить о наличии в ней Ц. п. и определение всех Ц. п. путем анализа программы (что может потребоваться, напр., при ее проверке) остановится сложной проблемой (см. *Декодирование программы*).

Разработка методов построения Ц. п.— одна из важных проблем, к-рая должна быть решена при *автоматизации программирования*. Поскольку автоматизация программирования заключается в создании входного языка программирования и программирующей программы (часто наз. транслятором), перерабатывающей алгоритмы, заданные на входном языке программирования, в рабочие программы, то всякий входной язык программирования должен располагать рядом способов описания Ц. п. В частности, алгоритмич. язык *алгол*, во-первых, позволяет описывать Ц. п. путем описания образующих их элементарных операторов, а во-вторых, располагает способами сжатого описания Ц. п. при нек-рых частных способах управления их повторениями (т. е. при нек-рых частных видах логич. операторов). Сжатое описание Ц. п. состоит из т. н. заголовка цикла и оператора (к-рый в свою очередь может состоять из более простых операторов), т. е. может быть изображено как ZS (здесь Z — заголовок цикла, а S — оператор). В заголовке цикла указывают параметр цикла и способ получения его последоват. значений, при к-рых должен быть выполнен оператор S. При переработке в программу Ц. п., записанный на входном языке программирования, может по-разному реализоваться в программе в зависимости от конструктивных особенностей ЭВМ.

Лит.: Китов А. И., Криницкий Н. А., Электронные цифровые машины и программирование, 2 изд., М., 1961; Криницкий Н. А., Миронов Г. А., Фролов Г. Д., Программирование, М., 1963; Гнеденко Б. В., Королюк В. С., Ющенко Е. Л., Элементы программирования, 2 изд., М., 1963. *И. А. Криницкий*

ЦИРКУЛЯЦИЯ (circulation; circulation; Reduzierung von Rechenoperationen beim Programmieren) — один из приемов программирования, позволяющий экономить количество команд и машинное время, необходимое для вычисления величин, зависящих от параметра *цикла программы*. При выполнении цикла величина, подсчитанная при одном значении параметра цикла, может использоваться для вычислений при неск. последующих его значениях. Напр., при нахождении величины $x^3_{i-1}+x^3_i+x^3_{i+1}$ каждое слагаемое используется при трех последовательных значениях параметра цикла i. Циркуляция позволяет в таком случае сохранить однажды вычисленное значение величины для последующего его использования.

Принцип Ц. состоит в следующем: для выполнения цикла отводится группа *ячеек стандартных* $s_1, s_2, \ldots, s_n$, где n равно количеству значений параметра цикла, при к-рых используется одно и то же значение величины. В этих ячейках хранятся последовательные значения величины. При переходе к следующему значению параметра цикла содержимое стандартных ячеек сдвигается на одну ячейку, т. е. происходит перенос содержимого s_1 в s_2, s_2 в s_3 и т. д.; s_n в s_{n-1}. Прежнее содержимое ячейки s_1 пропадает, а в s_n заносится значение величины, вычисленное при очередном значении параметра цикла. Т. о., повторное вычисление величины заменяется ее выборкой из соответствующей стандартной ячейки, что экономит время вычислений. Это время экономится еще и потому, что использование Ц. уменьшает количество команд переадресации. Программа вычисления величины $x^3_{i-1}+x^3_i+x^3_{i+1}$ для трехадресной машины без применения Ц. имела бы вид:

Операция	Адрес 1-го числа	Адрес 2-го числа	Адрес результата	Результат операции
* ×	$\langle x_{i-1}\rangle$	$\langle x_{i-1}\rangle$	r_1	x^3_{i-1}
* ×	r_1	$\langle x_{i-1}\rangle$	r_1	x^3_{i-1}
* ×	$\langle x_i\rangle$	$\langle x_i\rangle$	r_2	x^3_i
* ×	r_2	$\langle x_i\rangle$	r_2	x^3_i
* ×	$\langle x_{i+1}\rangle$	$\langle x_{i+1}\rangle$	r_3	x^3_{i+1}
* ×	r_3	$\langle x_{i+1}\rangle$	r_3	x^3_{i+1}
+	r_1	r_2	r_1	$x^3_{i-1}+x^3_i$
+	r_1	r_3	r_1	$x^3_{i-1}+x^3_i+x^3_{i+1}$

В этой программе имеется 6 переадресуемых команд, отмеченных звездочками.

С использованием стандартных ячеек s_1, s_2, s_3, в к-рых хранятся x^3_{i-2}, x^3_{i-1}, x^3_i, программа примет вид:

Операция	Адрес 1-го числа	Адрес 2-го числа	Адрес результата	Результат операции
0	s_2	0000	s_1	x^3_{i-1}
0	s_3	0000	s_2	x^3_i
* ×	$\langle x_{i+1}\rangle$	$\langle x_{i+1}\rangle$	r_1	x^2_{i+1}
* ×	r_1	$\langle x_{i+1}\rangle$	s_3	x^3_{i+1}
+	s_1	s_2	r_1	$x^3_{i-1}+x^3_i$
+	r_1	s_3	r_1	$x^3_{i-1}+x^3_i+x^3_{i+1}$

Здесь 0— код операции переноса. Такая программа имеет меньшее количество команд переадресации. Название «циркуляция» неточно отражает суть этого приема, т. к. на самом деле происходит не циркуляция величин, а запоминание группы последовательных значений величины.

Лит.: Китов А. И., Криницкий Н. А., Электронные цифровые машины и программирование, 2 изд., М., 1961; Криницкий Н. А., Миронов Г. А., Фролов Г. Д., Программирование, М., 1963. *И. Х. Зуман.*

ЦИФРОВАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА [digital computer; calculateur (calculatrice) numérique; Digitalrechenmaschine] (ЦВМ) — вычислит. машина с программным управлением, оперирующая величинами, представленными в цифровой форме.

Принципы построения и работы. ЦВМ содержит (рис. 1): *арифметическое устройство* (АУ); *запоминающие устройства* (ЗУ), разделяющиеся на три типа: быстродействующее *запоминающее устройство оперативное* (огранич. емкости), *запоминающее устройство внешнее* для хранения больших информац. массивов (к-рыми оно обменивается по мере необходимости с ОЗУ), промежуточное *запоминающее устройство буферное*; *управления устройство центральное* (УУЦ), регулирующее работу всех устройств машины в соответствии с программой решения задачи; входные и выходные устройства (см. *Ввод данных в ЦВМ* и *Вывод данных из ЦВМ*); пульт управления (ПУ) (см. *Пульт управления ЦВМ*).



Рис. 1. Структурная схема ЦВМ.

Устройства ЦВМ связаны между собой системой электрич. магистралей (см. *Магистраль адресная*, *Магистраль командная*, *Магистраль числовая*). Вспомогат. устройства, предназначенные для предварительной подготовки исходных данных (напр., для перевода их на перфоносители) и оформления результатов решения (размножение результатов, составление графиков и т. д.), электрич. связи с ЦВМ не имеют.

В зависимости от типа ЦВМ и ее назначения наблюдается различный состав каждого устройства, его объем и технич. параметры. В отдельных случаях нек-рые устройства в явном виде могут отсутствовать (напр., ф-ции центр. устройства управления в клавишных ЦВМ выполняет человек).

В процессе работы ЦВМ используется информация двух типов: программа решения и исходные данные. Программа определяет последовательность выполняемых машиной операций и может задаваться либо с помощью коммутации схемных элементов (*линий задержек*, запоминающих ячеек и т. д.), либо путем записи в ЗУ управляющих кодов (см. *Команда*), последовательно выбираемых в процессе счета. Процесс решения задачи разбивается на операции, каждая из к-рых выполняется по определ. команде. Время, в течение к-рого выполняется одна команда, наз. *тактом работы машины*. Исходные данные определяют нач. условия задачи и ход ее решения. Первичными носителями информации, с помощью к-рых в ЦВМ вводится программа решения и исходные данные, наиболее часто являются перфокарты и перфоленты.

Осн. параметры. 1) Номинальное быстродействие машины $V_н$, характеризуемое ср. количеством операций в единицу времени. Определяется скоростью выполнения каждой операции V_i и частотой появления операций q_i: $V_н = \sum_{i=1}^{k} V_i \cdot q_i$, где k — общее количество различных операций, выполняемых данной машиной. Поскольку $V_н$ зависит от класса решаемых задач, номинальное быстродействие машины характеризуют часто набором $V_1, V_2, \ldots, V_k$. Номинальное быстродействие является одним из показателей производительности ЦВМ. Более полно производительность ЦВМ определяется эффективным быстродействием, учитывающим влияние медленнодействующих устройств, особенности системы команд и др. Количеств. оценка эффективного быстродействия в ряде случаев весьма затруднена; 2) состав ЗУ, их емкость и время обращения к ним. Емкость ЗУ определяется либо количеством *слов машинных*, либо количеством двоичных цифр, к-рые могут одновременно храниться в ЗУ. Время обращения $t_{обр}$ определяет время полного цикла записи или выборки одного машинного слова в ЗУ. Вместо времени обращения иногда пользуются параметром быстродействия $V_{зу}$, определяющим количество машинных слов, к-рое можно записать в ЗУ или выбрать из него в единицу времени; 3) состав и быстродействие устройств ввода и вывода информации; 4) разрядность, определяемая макс. количеством цифр, к-рые могут храниться в одной ячейке ЗУ и восприниматься во всех цепях машины в виде одной кодовой группы; 5) адресность команд — количество *адресов* в команде, по к-рым можно обращаться к различным устройствам для получения или отсылки информации; 6) количество одновременно выполняемых программ (количество задач, к-рые можно одновременно решать на ЦВМ); 7) назначение

машины; 8) типы элементов, используемых в машине, габариты машины; 9) эффективность машины является обобщенным параметром ЦВМ, оценивающим степень соответствия машины предъявляемым к ней требованиям; 10) состав операций, выполняемых машиной (набор команд).

Классификация. Цифровые вычислит. машины делят (рис. 2):

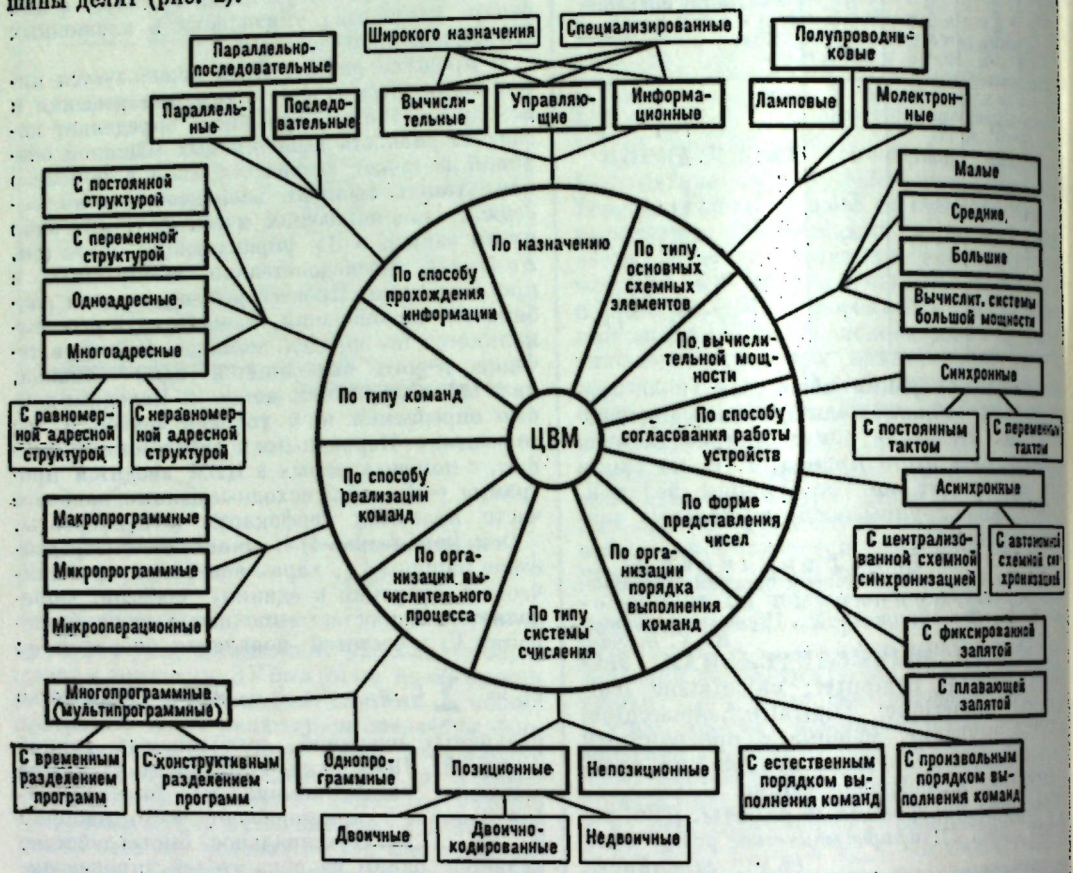


Рис. 2. Классификационная схема ЦВМ.

По назначению — на расчетные (собственно вычислительные), предназначенные для выполнения трудоемких научных и технич. вычислений (решение систем ур-ний, обращение матриц, вычисление интегралов и т. д.); управляющие — для управления реальными процессами; информационные — для спец. обработки больших объемов информации (статистич. обработка различных данных, учет материальных ценностей и т. д.). Расчетные ЦВМ характеризуются широким набором выполняемых операций, наличием двухсторонних оперативных ЗУ для записи, хранения и выборки команд программы и данных, развитой системой ввода и вывода информации (машины М-20, БЭСМ, ИБМ-7070, НЕАК-2201). *Управляющие цифровые машины* имеют спец. преобразующие и согласующие устройства, непосредственно связанные с датчиками информации и каналами связи. Обладают обычно пост. программой. *Информационные машины* характеризуются большим объемом ЗУ, широким набором логич. операций, наличием трех типов адресных систем — номерных, словарных и ассоциативных (иногда), а также развитым комплексом устройств ввода — вывода информации (в т. ч. и дистанционным).

По широте охвата различных областей применения (по кругу решаемых задач) вычислительные (расчетные), управляющие и информационные машины делят на машины широкого назначения — универсальные (ИБМ-7090, «Атлас», «Минск-2» и другие) и специализированные — для решения узкого класса задач («Погода», «Марс-2» и т. д.).

По типу основных схемных элементов, применяемых в ЦВМ, — на ламповые, полупроводниковые и молекронные. Ламповые элементы (триоды, пентоды, тиратроны и т. д.) характерны для первых ЦВМ (БЭСМ, СЕАК); отличаются большой выходной мощностью, хорошими усилительно-формирующими возможностями и удобством межкаскадных согласований (большое входное и малое выходное сопротивления). Однако большие габариты, значит. потребление энергии, весьма огранич. срок службы делает их для ЦВМ мало эффективными. В отдельных случаях применение ламповых элементов оправдано в блоках питания и в выходных цепях, непосредственно связанных с исполнительными цепями управляемых объектов. Полупроводниковые ЦВМ (используют транзисторы, германиевые и кремневые диоды и др.) получили наибольшее распространение вследствие малого потребления энергии, компактности и высокой надежности («Минск-22», «Днепр», КДК-3600, «Гамма-40» и т. д.). Недостаток многих ПП элементов — большая зависимость параметров от темп-ры, трудности схемных согласований (вследствие малого входного сопротивления) и обеспечения высо-

кой стабильности хар-к для элементов одного и того же типа. Молектронные ЦВМ строятся на базе микроминиатюрных схем, использующих структурные молекулярные неоднородности твердого тела (ИБМ-360). Они обладают большой плотностью монтажа (на 2—3 порядка больше, чем в полупроводниковых ЦВМ), высокой надежностью, отличаются ничтожным потреблением энергии. Являются наиболее перспективными. ЦВМ строятся иногда и на базе др. элементов (электромагнитных реле, пневматич., оптич. и др. элементов). Однако выделенные типы элементов для ЦВМ наиболее характерны.

По вычислительной мощности — на малые, средние, большие машины и вычислит. системы большой мощности. К малым ЦВМ относят машины с объемом оперативного ЗУ (ОЗУ) до 2048 ячеек, внешнего ЗУ (ВЗУ) до 50—200 тыс. слов, с номинальным быстродействием до 5000 *оп/сек* («Урал-1», «Раздан», НЕАК-2302). Ср. машины характеризуются объемом ОЗУ порядка 2048—8192 ячейки, ВЗУ — св. 200 тыс. слов. Как правило, они содержат буферные ЗУ. Номинальное быстродействие — 20—30 тыс. *оп/сек* (М-20, ДЕ-225, ИБМ-7070 и т. д.). В больших ЦВМ часто наблюдается развитая многоступенчатость ЗУ с рядом сверхбыстродействующих каскадов огранич. объема. Объем и состав каждого типа ЗУ — переменный за счет блочного наращивания. Емкость ОЗУ — до сотен тыс. ячеек, ВЗУ — млн. слов. Буферные ЗУ — разнообразные. Номинальное быстродействие — порядка 200—300 тыс. *оп/сек*. Предусмотрена возможность мультипрограммного управления. Система ввода — вывода информации — многоканальная (ИБМ-7090, «Юнивак-1107»).

Вычислит. системы большой мощности представляют собой конструктивное объединение нескольких вычислит. машин с общей емкостью ОЗУ до млн. ячеек, большим объемом ВЗУ (до млрд. слов) и мультипрограммным управлением. Возможна совм. работа с др. ЦВМ. Номинальное быстродействие — до нескольких млн. операций в 1 сек. (ИБМ-7030, КДК-6600, ИБМ-360).

По способу прохождения информации — на параллельные (см. *Параллельного действия машина*), последовательные (см. *Последовательного действия машина*) и параллельно-последовательные (см. *Параллельно-последовательного действия машина*). В параллельных машинах передача и обработка числовых кодов осуществляются одновременно по всем разрядам. Каждому разряду соответствует свой информац. канал. Такие машины (ИБМ-701, «Минск-22») имеют высокое быстродействие и относительно большой объем оборудования. В последоват. машинах передача информации и действия над кодами происходят последовательно, разряд за разрядом. Используется время-импульсное кодирование информации. Машина обладает меньшим по сравнению с параллельными ЦВМ быстродействием, но и меньшим объемом оборудования. Параллельно-последоват. машины все действия над кодами производят последовательно по группам при параллельной обработке всех разрядов каждой группы. По быстродействию и объему оборудования занимают промежуточное положение между параллельными и последоват. машинами. Наиболее часто используют двоично-десятичное кодирование чисел (машины БИЗМАК, НОРК, К-1).

По типу команд — на ЦВМ с постоянной и с перем. структурой и, с др. стороны, — на одноадресные и многоадресные. Пост. структура команд («Стрела», БЭСМ) легко реализуется, однако не обладает одинаковой эффективностью для различных задач. Перем. структура команд позволяет изменять команды в зависимости от решаемых задач (см. *Структура команд*). *Одноадресные машины* имеют команды с одним адресом, относящимся в зависимости от кода операции или др. признаков либо к *операндам*, либо к результатам операций. Удобны при выполнении взаимосвязанных операций, когда результат предыдущей операции является операндом последующей. В *многоадресных машинах* команды содержат по нескольку адресов, функцион. роль к-рых определяется логич. структурой машины. Наиболее часто встречаются двух- и трехадресные машины. Адреса команды могут быть одинаковой длины и равноценны по охвату объема ЗУ (равномерная адресная структура), а могут быть команды, в к-рых отдельные адреса короче других и могут охватывать лишь огранич. участки ЗУ. Применяются при весьма больших объемах ОЗУ, когда полный набор равнозначных адресов не помещается в командном слове.

По способу реализации команд — на макропрограммные, микропрограммные и микрооперационные. В макропрограммных ЦВМ отдельные элементы команды (адреса, код операции и т. д.) преобразуются дешифратором в наборы управляющих сигналов, непосредственно воздействующих на исполнит. схемы. Микропрограммные ЦВМ (см. *Микропрограммное управление*) предусматривают расчленение команды на ряд микрокоманд, каждый разряд к-рых непосредственно связан с тем или иным исполнит. элементом. При этом допускается модификация состава команд простой заменой соответствующих микропрограмм. В микрооперац. машинах каждый разряд макрокоманды соответствует конкретной элементарной операции машины. Сочетание этих микроопераций (содержание команды) задается при составлении программы. В этом случае обеспечивается произвольный выбор выполняемых командой ф-ций, однако составление программы существенно усложняется.

По способу организации вычислит. процесса — на однопрограммные, реализующие в каждый момент времени одну программу (М-20, БЭСМ), и многопрограммные (мультипрограммные), допускающие одноврем. решение нескольких задач (ИБМ-7090, «Гамма-60»). Последние имеют систему прерывания программ (см. *Управления устройство центральное*) со шкалой приоритетов, определяющей взаимосвязь различных программ в процессе их обслуживания.

По способу согласования работы отдельных устройств — на синхронные и асинхронные. В *синхронных вычислительных машинах* время начала и конца работы каждого устройства определяется центральным устройством управления и регламентируется заранее при проектировании машины. Различают синхронные машины с постоянным (максимально возможным)

и переменным тактом работы. Первые — просты в разработке и эксплуатации, однако при выполнении операций, к-рые короче максимально возможной, в них происходят непроизводит. потери времени. Машины с перем. тактом имеют несколько видов такта, соответствующих различным группам машинных операций. В *асинхронных вычислительных машинах* каждый раз затрачивается фактически необходимое для данной операции время. Каждое устройство вырабатывает сигнал «конец работы», к-рый и определяет готовность устройства к следующему циклу. Асинхронные ЦВМ в свою очередь делятся на машины с централизов. схемной синхронизацией, обладающие одной последовательностью гл. синхроимпульсов (асинхронность относится лишь к числу импульсов), и на машины с автономной схемной синхронизацией, в к-рых каждое устройство вырабатывает свою отдельную синхронизирующую серию сигналов.

По организации порядка выполнения команд — на машины с естеств. порядком следования команд (команды выбираются поочередно одна за другой в той последовательности, в к-рой они записаны в ОЗУ) и на машины с произвольным порядком следования команд (каждая команда содержит адрес следующей команды). 1-й вариант упрощает структуру команды. Формирование адреса команды при этом сводится к простому увеличению на единицу соответствующего счетчика. Установленный порядок выборки команд изменяется по спец. командам *перехода условного* и *перехода безусловного*. Второй вариант применяется при циклич. ЗУ, поскольку при этом обеспечивается возможность оптим. программирования с миним. временем ожидания каждой последующей команды.

По типу системы счисления, принятой в машине, — на позиционные и непозиционные. В позиционных машинах все информац. каналы жестко закреплены за определенными разрядами. Позиционные машины наиболее легко воспринимают и выдают информацию в удобной для человека форме (не требуется громоздких преобразований на входе и на выходе), экономичны по затрачиваемому оборудованию для схемной интерпретации чисел, довольно просто обеспечивают широкий диапазон представления цифровой информации. Однако разрядная связь между отдельными цифрами усложняет выполнение арифметич. операций, вызывая необходимость в многочисл. сдвигах чисел по разрядной сетке, в дополнит. операциях переносов из разряда в разряд и т. д. Среди позиционных ЦВМ различают двоичные, двоично-кодированные и недвоичные. Двоичные машины (основание системы счисления равно двум) наиболее широко распространены благодаря удобству физ. представления чисел (для каждой цифры прибор с двумя устойчивыми положениями) и простоте арифметич. действий. Объем оборудования в двоичных машинах при всех прочих равных условиях близок к минимальному. Недостаток двоичных ЦВМ — необходимость преобразования входной и выходной информации. Он особенно ощутим при больших потоках входной и выходной информации (информац. машины). Для таких машин удобнее двоично-кодированная система, при к-рой каждая десятичная цифра кодируется по двоичной системе. Перевод чисел упрощается. Однако объем оборудования в этом случае по сравнению с чисто двоичными машинами несколько увеличивается. Недвоичные машины используют физич. приборы или схемы, обладающие отличным от двух количеством устойчивых состояний (напр., десять — в *декатронах*).

Из непозиционных ЦВМ практически применяются машины, использующие систему остаточных классов. В этой системе все числа записываются в виде остатков от деления на ряд простых чисел (2, 3, 5, 7 и т. д.). Напр., число 31 в системе $p_1=3$, $p_2=5$, $p_3=7$ будет представлено в виде (1, 1, 3). Все цифры в данном случае обрабатываются независимо, и в связи с этим выполнение арифметич. операций над числами упрощается. Недостатки подобных машин: ненаглядность чисел (запись числа не дает представления о его величине); трудность контроля выхода за пределы допустимого диапазона во время операций над числами; отсутствие возможности приближ. выполнения операций; трудность округления результата и др. Систему остаточных классов удобно использовать в машинах спец. назначения.

По форме представления чисел — машины с *запятой фиксированной* и *запятой плавающей*. В первом случае положение запятой фиксировано относительно разрядной сетки машины. Наиболее часто все числа представляются в виде правильной дроби с запятой перед старшим разрядом. Требуемый диапазон обеспечивается *масштабированием*. Арифметич. действия в подобных машинах выполняются весьма просто. Однако программирование усложняется из-за необходимости введения масштабных коэфф. Во втором случае число x представляется в виде $x = \text{sign}\, x \cdot M_x \cdot r^{p_x}$, где sign x — знак числа, M_x — мантисса числа, r — основание системы счисления, p_x — порядок числа. Поскольку основание системы счисления для данной машины обычно неизменно, то r в явном виде отсутствует (x пишется в виде sign x, M_x, p_x). Порядок p указывает положение запятой в разрядной сетке. Арифметич. операции требуют при этом предварительного согласования порядков, что в ряде случаев существенно затрудняет их выполнение. Однако применение масштабных коэфф. при этом практически не требуется, поскольку диапазон представляемых чисел оказывается весьма большим. Программирование задач в ЦВМ с плавающей запятой значительно упрощается. Наиболее удобно схемное сочетание в одной машине возможности использования обеих форм представления чисел.

Производство вычислительной техники. Только в капиталистич. странах парк вычислит. машин возрос с десятков в 1940-х гг. до тысяч в 1960-х гг. По состоянию на 20 окт. 1963 во всех капиталистич. странах установлено св. 16000 ЦВМ и заказано ок. 8000. По ориентировочной оценке амер. фирмы RCA [10] (рис. 3), в 1965 парк машин достигнет 20 000 штук, а к 1970 — 75 000. Ведущее место в области произ-ва и использования ЦВМ среди капиталистич. стран занимают США, где сосредоточено около 80% всего парка машин (табл. 1). В пром-сти счетного машиностроения США в 1963 было занято более 1 млн. чел., а произ-вом вычислит. машин — 20 фирм [осн. фирма «International Business Machines Corporation» (ИБМ), сосредоточившая в своих руках ок. 78% всего произ-ва машин]. Из зап.-европ. стран в области произ-ва и использования вычислит. техники выделяются Англия, Франция и ФРГ.

Табл. 1. Некоторые данные о парке зарубежных ЦВМ

Страна	Количество ЦВМ		
	1962 г.	1963 г. установлено	1963 г. заказано
США	9337	13 000 (на январь 1964)	6000 (на январь 1964)
Англия	383	606	145
ФРГ	472	2588	1901
Франция	342		
Италия	250		
Бенилюкс	110		
Скандинавские страны	130	—	—
Япония	254	300 (по плану)	—

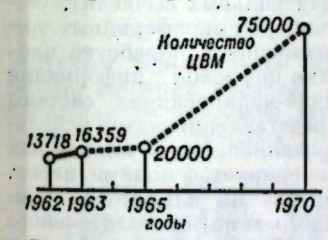


Рис. 3. Рост парка ЦВМ.

Наряду с количеств. ростом парка ЦВМ наблюдается резкое улучшение их технич. и эксплуатац. хар-к: примерно за 20 лет номин. быстродействие возросло с сотен (напр., машина СЕАК, 600 *оп/сек*, 1950) до млн. операций в сек. [CDC-6600 (КДК-6600), 3 млн. *оп/сек*, 1963], объем ЗУ возрос в тысячи раз [напр., СЕАК, 512 слов, 1950 и ИБМ-360(М-70), 524 288 слов, 1964]. Значительно увеличилась плотность размещения элементов, что позволило резко сократить удельный объем ЦВМ. На графиках (рис. 4) даны изменения осн. технич. показателей амер. ЦВМ, отражающие также и общее направление развития этой техники [11].

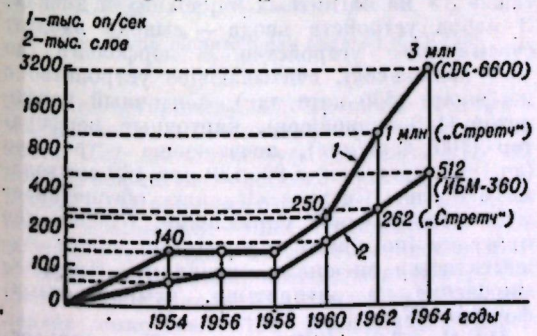


Рис. 4. Графики роста номинального быстродействия (*1*) и объема оперативного запоминающего устройства (*2*) для американских ЦВМ.

Рассмотрение тенденции роста потребности в ЦВМ на базе анализа перспективных задач показывает, что в 1970—75 будет необходимо быстродействие ЦВМ порядка 10^9 *оп/сек* и объемы ОЗУ до 10^{10} двоичных единиц. Коренным образом меняется тип физ. элементов, на к-рых собираются ЦВМ, и характер технологии их компоновки в ячейках и блоках. Первое поколение ЦВМ строилось на электронных лампах с навесным проводным монтажом. Второе поколение ЦВМ начало создаваться во 2-й пол. 1950-х гг., когда появились машины на ПП и ферритовых элементах и начали широко применять печатный монтаж. К 1964 выпуск ламповых машин практически прекратился. Третье поколение ЦВМ характеризуется применением тонких пленок, туннельных диодов, молекулярных блоков (см. *Физические элементы вычислительной техники*). Коренным образом меняется подход к технологии монтажа ЦВМ. Широко используются *микромодульное построение цифровых машин*

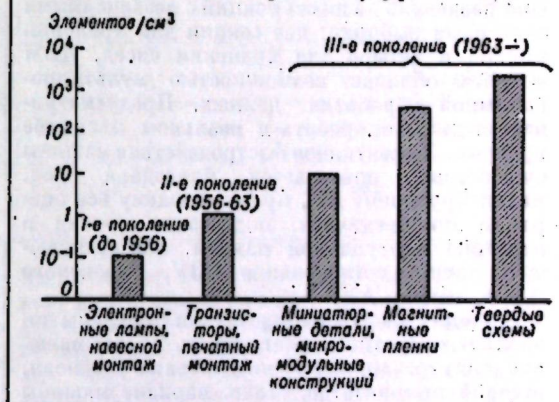


Рис. 5. Некоторые характеристики ЦВМ различных поколений.

и *твердые схемы*. Плотность монтажа в машинах третьего поколения достигает 2—3 тыс. элементов в 1 *см*³ (рис. 5).

Примеры зарубежных ЦВМ. «Стретч» (США, рис. 6) — вычислительная система большой мощности. Практически состоит из трех вычислительных агрегатов (секций),



Рис. 6. ЦВМ «Стретч» (США).

работающих независимо и обеспечивающих различные функциональные вычислительные процессы.

Секция коммутации связывает ОЗУ машины и многочисл. устройства ввода — вывода (одновременно могут работать до 32 различных устройств). Секция последоват. обработки

входных — выходных данных обеспечивает первичную обработку входной информации и вспомогат. обслуживание выходных потоков. Сверхбыстродействующая параллельная секция несет на себе осн. вычислит. нагрузку по обработке упорядоч. данных в соответствии с характером поставленной задачи. Машина выполнена на ПП и магнитных элементах. Двоичная система счисления. Разрядность — 64 двоичных разряда. Представление чисел в форме с плавающей и фиксиров. запятой. Команды имеют одно- или двухадресный формат. Скорость выполнения операций: сложение с фиксированной запятой 0,2 *мксек*, сложение с плавающей запятой 0,6 *мксек*, умножение 1,2 *мксек*. ВЗУ построено в виде магнитных лент и дисков с перем. емкостью (до 32 каналов для ЗУ на лентах по 8 магнитофонов на каждый канал); кроме этого, могут подключаться блоки магнитных дисков емкостью до 4 млн. слов каждый. ОЗУ машины обладает емкостью до 262 144 полноразрядных слов. Оно разделено на шесть секций с независимыми системами выборки: две секции для хранения команд и четыре для хранения чисел. ЦВМ «Стретч» обладает возможностью мультипрограммной обработки данных. Предусматривается дистанц. работа в реальном масштабе времени. Эффективное быстродействие машины существенно повышается благодаря спец. индексирующему АУ, производящему все операции по предварит. подготовке команд и наличию виртуальной памяти, обеспечивающей оптим. согласование ОЗУ, индексного АУ и центр. АУ.

Сложная система прерывания программ позволяет оперативно реагировать на все внешние и внутр. запросы в соответствии с установл. шкалой приоритетов. Макс. вариант машины занимает площадь 372 $м^2$.

«А т л а с» (Англия, рис. 7) — вычислит. система большой мощности и широкого назначения. Полупроводниковая. С двоичной системой счисления. Разрядность — 48 двоичных разрядов. Использует как плавающую запятую, так и фиксированную. Одноадресная. Скорость выполнения операций: сложение ок. 1 *мксек*, умножение 4 *мксек*. ОЗУ на ферритовых сердечниках — 32 блока по 4096 слов каждый (допускает одноврем. обращение к различным секциям ОЗУ), буферное ЗУ на магнитных барабанах вертикальной конструкции (до 16 барабанов по 24 576 слов каждый), ВЗУ на магнитных лентах (35 блоков восьмиканальной ленты). В машине используется до восьми печатных устройств со скоростью вывода 600 строк/мин. Ксерографич. печатающие устройства (цифро-буквенные), а также различные перфораторы и читающие устройства. Внешние устройства могут работать по независимым подпрограммам. Таблица очередности вводится в память. Предусмотрена возможность мультипрограммного управления (одновременно до 8 программ).

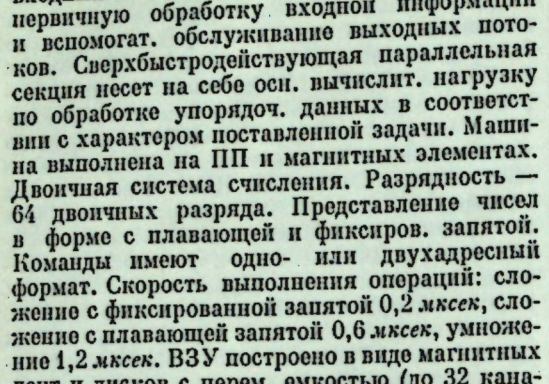


Рис. 7. Вычислительная система «Атлас» (Англия).

«П а л л а с» (Франция, рис. 8)—универс. вычислительная машина ср. мощности — прим.

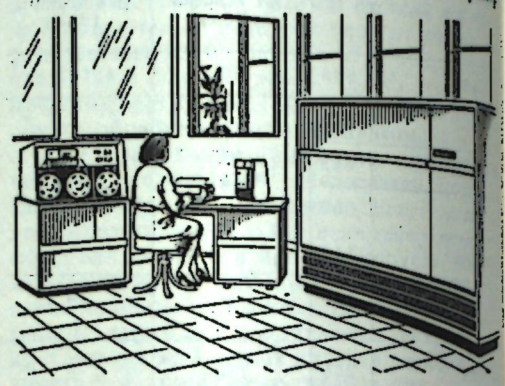


Рис. 8. ЦВМ «Паллас» (Франция).

типовой совр. зап.-европ. машины. Система построена по агрегатному принципу, предлагающему произвольную комплектацию различными видами центральных вычислит. устройств и широким набором периферийных устройств. Имеется возможность обработки цифровой и алфавитно-цифровой информации (двоичная и двоично-кодированная системы счисления). Для представления чисел используется как фиксированная, так и плавающая запятые. Система оперирует с полями переменной длины. ОЗУ выполнено на микротораx. Емкость его для каждого типа вычислительного устройства может наращиваться в следующих пределах: тип G — от 4096 до 32768 символов (по 7 двоичных разрядов), тип N — от 16384 до 65 536 символов, тип F — от 16 384 до 131 072 символов. Время выборки 1,4 *мксек* на два символа (запись и выборка идет по 2 символам). Для ВЗУ используются 9-дорожечные магнитные ленты (2 дорожки — служебные). Плотность записи 315 знаков на 1 *см*. Емкость бобины 20 млн. знаков. Предусмотрен автоматич. контроль записи и выборки. Имеются также ЗУ на магнитных барабанах и дисках. В набор устройств ввода — вывода входит считывающее устройство с перфолент (до 1000 знаков/сек), считывающее устройство с перфокарт (600 карт/мин), ленточный перфоратор (110 знаков/сек), карточный перфоратор (100 карт/мин), печатающее устройство (до 1200 строк/мин) с 80, 120 или 160 символами в строке. Система «Паллас» обеспечивает мультипрограммное управление. Прерывание программ (по шкале приоритетов) может осуществляться внешними сигналами. Программирование на алгоритмич. языках алгол, фортран IV, мейдж II.

И Б М - 3 6 0 (США, рис. 9) — универсальная вычислительная система большой мощности. Относится к ЦВМ 3-го поколения. Включает 6 моделей вычислительных машин (модели 30; 40; 50; 60; 62; 70) и до 44 типов входных и выходных устройств. Все 6 моделей имеют идентичную модульную структуру с полной взаимозаменяемостью блоков. Каждая из них

Табл. 2. Параметры системы ИБМ-360

Параметр \ Модель	30	40	50	60	62	70
Длина слова (в двоичных разрядах)	8	16	32	64	64	64
Емкость ОЗУ (к = 1024)	8к—64к	16к — 256 к	64 к — 256 к	128 к— 512к	256к — 512к	256 к— 512к
Время цикла ОЗУ (*мксек*)	2,0	2,5	2,0	2,0	1,0	1,0
Время машинного цикла (*мксек*)	1,0	0,625	0,5	0,25	0,25	0,2
Время срабатывания логич. цепей (*нсек*)	30	30	30	10	10	6
Время цикла 16 регистров общего назначения (*мксек*)	8	1,25	0,5	0,25	0,25	0,2
Время выполнения арифметич. операций: сложение (32 разряда)	29	7,5	3,3	1	0,9	0,4
Время выполнения арифметич. операций: умножение (32 разряда)	303	83	28	5,8	5,6	2,7
Месячная арендная плата (в долларах)	4200	9600	18 000	35 000	50 000	70 000

допускает варьирование объемов ОЗУ в довольно широких пределах (табл. 2). Система построена по новейшей молектронной технологии на базе твердых схем. Собирается из

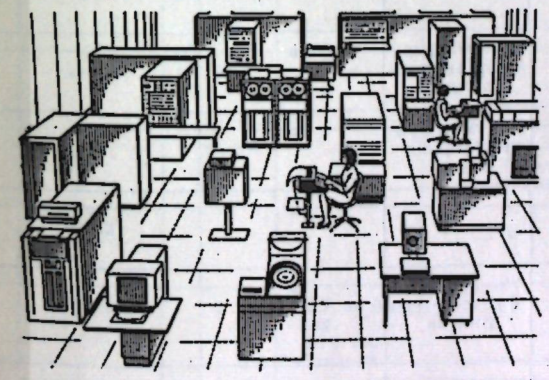


Рис. 9. Вычислительная система ИБМ-360 (США).

35 типов микромодулей. Произ-во схем автоматизировано и обеспечивает высокую надежность. Система использует двоичную и двоично-кодированную системы счисления, допускающую непосредств. обработку алфавитной информации. Макс. разрядность — 64 двоичных разряда. Числа представляются с плавающей и фиксированной запятыми. ОЗУ имеет 19 модификаций. Наименьший блок обладает емкостью 8192 8-разрядных ячеек (цикл обращения — 2 *мксек*), макс. блок — 524288 64-разрядных ячеек с временем обращения 1 *мксек*. Построена на магнитных сердечниках с внешним диаметром 0,53 *мм* (температурный диапазон от —55° до +80°С). Во внешних ЗУ используются магнитные ленты, диски, барабаны и магнитные карты. Магнитные ленты имеют емкость 500 млн. двоичных знаков, плотность записи 60—120 *имп/мм*, скорость записи-считывания 340 000 алфавитно-цифровых знаков в 1 сек. Количество блоков магнитной ленты — до 256. Магнитные диски емкостью до 14,5 млн. десятичных цифр; к каждому блоку управления подключается до 8 таких комплектов. Магнитные барабаны с произвольной выборкой обладают емкостью 4 млн. цифр. ЗУ на магнитных картах, до 8 блоков с суммарной емкостью ок. 6 млрд. знаков.

По своей производительности и возможностям модель 70 превосходит все существующие ЦВМ (в т. ч. и «Стретч»). Производительность модели 30 примерно в 50 раз меньше производительности модели 70. Входная и выходная аппаратура содержит читающие устройства с перфолент и перфокарт, устройства непосредственного считывания алфавитно-цифрового текста, индикаторный блок на кинолентах, обеспечивающих оперативное отображение динамики вычислений, и т. д. Имеется дистанц. справочное устройство, отвечающее голосом на всевозможные вопросы, задаваемые с помощью спец. клавиатуры.

Система ИБМ-360 обладает единым машинным языком, обеспечивающим полную совместимость программирования для всех моделей. Набор команд охватывает 142 различные операции. Команды — с перем. структурой и длиной. Широко развитая система математич. обеспечения, представляемая потребителю на магнитных лентах, включает полный набор служебных программ, трансляторы для алгоритмич. языков фортран-IV и кобол, а также типовые программы для часто решаемых математич. задач.

Осн. хар-ки ряда др. зарубежных ЦВМ приведены в табл. 3.

Табл. 3. Характеристики некото... зарубежных ЦВМ

Название машины	Страна	Фирма-изготовитель	Дата первой поставки (год)	Месячная арендная плата (долл.)	Основные элементы	Тип ОЗУ	Параметры ОЗУ: емкость (тыс. слов)	Параметры ОЗУ: время выборки (*мксек*)	Число блоков магнитной ленты (ВЗУ)	Время выполнения операции (*мксек*): сложение	Время выполнения операции (*мксек*): умножение	Ввод и вывод	Примечание
IBM-7040 (ИБМ)	США	"International Business Machines Corporation"	1963	14 000	Транзисторы	Магнитные сер... ники	4—32	8	56	16	33—46	Перфокарты, перфоленты	Используются языки фортран, кобол
IBM-7072	»	»	1962	15 800	»	»	5—30	6	40 (блоки типа IBM-7330)	12	64	Перфокарты, перфоленты, печатающее устройство	Используются фортран, кобол
B-5000	»	"Burroughs Corporation"	1963	16 200	»	»	4—52	6	16	3	37	»	Решает 3 задачи одновременно. Алгол, кобол
D-825	»	»	1963	—	»	Тонкие пленки	—	1	—	—	—	До 64 устройств ввода—вывода на каждое распределит. устройство	Модульная конструкция
CDC-3600	»	"Control Data Corporation"	1963	52 000	»	Магнитные сер... ники	32—262	1,3	4096	1,3	1—6	Перфокарты, перфоленты, печатающее устройство	До 5 машин можно объединять в один вычислительный комплекс
"Philco-2000-212"	»	"Philco Corporation"	1963	68 000	»	»	16—65	2	256	0,55	4,3	»	Имеется система предварительной подготовки команд
ETL Mk-6	Япония	"Electro Technical Laboratory"	—	—	»	Туннельные дио... Магнитные сер... ники	2×64 слов 2×4	время обращения 0,25 2	—	0,25	4	—	Алгол
FACOM-202	»	"Fuji Communication apparatus Manufacturing Company"	1960	—	Параметроны, лампы	Магнитные сер... ники	4,096	—	—	40	320	Перфоленты, печатающее устройство	—
OKITA-5090D	»	"Oki Electric Industry Company"	1962	—	Транзисторы	»	40	—	—	400	5000	Перфокарты, печатающее устройство	—
"Elliott-503"	Англия	"Elliott Brothers"	—	50—100 тыс. фунтов стерлингов	»	»	4—8	3	—	8	18—28	Перфокарты, перфоленты, печатающее устройство	Алгол
KDF-9	»	"Englich Electric Company"	1962	200 тыс. фунтов стерлингов	»	»	4—32	3—6	—	1 для фиксированной и 7 для плавающей запятых	14	»	Одновременно выполняет 4 программы
"Apollo"	»	"Ferranti"	1961	—	»	»	8—32	2	—	6	60	Произвольный набор	Используется для управления воздушным движением
ICT-1500	»	"International Computers and Tabulators"	1962	72—350 тыс. фунтов стерлингов	»	»	10—40	7	ВЗУ на дисках, 20—176 млн. знаков	—	—	Перфокарты, перфоленты, печатающее устройство	Система для обработки данных состоит из 17 различных устройств
"Gamma-10"	Франция	"Companie des Machines Bull"	1962	—	»	»	1,024—4,096	7	—	—	—	Перфокарты, печатающее устройство	Для обработки данных
"Gamma-30"	»	»	1961	3,3—25 тыс.	»	»	20—40 тыс. двоичных знаков	7	Макс. емкость 196 млн. чисел	126	—	Перфокарты, перфоленты, документы с магнитной печатью, печатающее устройство	Алгол, кобол, фортран
"Gamma-40"	»	»	1963	—	»	»	40—160	1,75	24	—	—	Перфокарты, перфоленты, печатающее устройство	Имеются магнитные диски емкостью до 500 млн. чисел
CAB-500	»	"Société D' Electronique et D' Automatisme"	1960	—	Магнитные элементы	Магнитный сер...	16 384	—	—	308	—	»	Выполнена в виде стола
"Siemens"	ФРГ	"Siemens und Halske Allgemeine Gesellschaft"	1958	1,5 млн. герм. марок (цена)	Транзисторы	Магнитные сер... ники	1—100	5	—	90 для фиксированной и 450 для плавающей запятых	1260 1350	»	Допускает ввод в реальном масштабе времени
TR-4	»	"Telefunken"	1961	—	»	»	8—28	2	—	5 для фиксированной и 15 для плавающей запятых	30	»	Алгол

Название машины	Страна	Фирма-изготовитель	Дата первой поставки (год)	Месячная арендная плата (долл.)	Основные элементы	Тип ОЗУ
ELEA-9003	Италия	„Olivetti"	1960	—	Транзисторы	Магнитные сер… ники
CEP	»	„University of Pisa"	1960	=	Лампы, транзисторы	»
„Pascal"	Нидерланды	„Phillips"	1960	=	»	»
SAAB D-21	Швеция	„Svenska Aeroplan Ab."	1961	—	»	»
FP-6000	Канада	„Ferranti-Packard Electric"	1962	=	Транзисторы	»

Выбор и оценка параметров. Наиболее общим параметром ЦВМ принято считать эффективность машины, характеризующую производительность машины и ее экономичность. Эти показатели оцениваются с помощью двух величин: эффективного быстродействия и цены эффективного быстродействия (см. *Экономическая эффективность автоматизации*). Следует отметить, что, помимо этих показателей, весьма часто приходится считаться и с такими сторонами, как удобство программирования, простота обслуживания машин, удобство согласования с управляемыми объектами (для управляющих машин) и рядом др. критериев, для к-рых пока еще нет удовлетворительных количественных оценок. Эти стороны рассматриваются в каждом случае отдельно с учетом конкретного назначения машины, условий ее работы и ожидаемого от нее эффекта.

Выбор адресности ЦВМ. При выборе адресности ЦВМ учитывают следующие факторы: 1) эффективность использования адресов в команде. Зависит от характера выполняемых операций и от их связности. Так, при выполнении логич. операций типа сравнения, как правило, неэффективным является третий адрес трехадресной команды (результат оценивается качественно и никуда не отсылается). Выполнения связанных операций могут привести к неэффективному использованию даже двух из трех адресов. Напр., в последовательности операции типа $x+y+z+\ldots$ 2-й и 3-й адреса будут использоваться неэффективно. В первом случае наиболее эффективным будет двухадресный формат, а во втором — одноадресный. В случае выполнения независимых арифметич. операций (операнды и результаты последовательных операций не связаны) предпочтение следует отдать трехадресному формату. Т. о., адресность специализиров. машин с точки зрения эффективного использования адресов в машине должна оцениваться на базе анализа алгоритмов решаемых задач. Для машин широкого назначения, когда вероятность появлени… различных операций и их сочетаний приме… одинакова, целесообразно выбирать пере… адресность (машины «Гамма-60», Б-500), обеспечивающую приспособление команд … особенностям задач;

2) согласование длины команды и числ… Длина разрядной сетки ЦВМ k задается обыч… допустимой точностью представления чисе… При выборе адресности нужно стремиться … тому, чтобы в полную ячейку ОЗУ вписывалась либо одна команда (без большого … личества избыточных разрядов), либо … команды (три команды, как правило, вписать … одну ячейку не удается). Адресность s при эт… определяется из следующего соотношения: $(sm_a+m_{оп}+m_{сл})q=k-(0\div 3)$, где m_a — длин… адреса, $m_{оп}$ — длина кода операции, $m_{сл}$ … длина служебной части команды, q — коэ… фициент заполнения ячейки командами (практически $q=1$ или 2). Напр., при $k=44$, $m_a=1$… $m_{сл}=4$, $m_{оп}=6$ наиболее удачными следует считать одноадресные ($q=2$) и трехадресные команды ($q=1$). В том же случае, но … $m_a=16$ предпочтительней окажется двухадресный формат ($q=1$). Если для адресной части выбирается неравномерная структура, то вместо sm_a вводится сумма $m_{a_1}+m_{a_2}+\ldots+m_{a_s}$, где m_{a_s} — длина s-го адреса;

3) емкость ОЗУ — N. С одной стороны, … определяет длину адреса m_a, влияющего на выбор адресности команды, с другой стороны, от адресности команды зависит длина про… граммы, а следовательно, и объем ОЗУ, к-рый она будет занимать. Если адрес должен обес… печивать обращение ко всем ячейкам ОЗУ, то $m_a=\log_r N$, где r — основание системы счисления, в к-рой кодируются адреса. Длина программы для каждой адресности зависит прежде всего от характера задач и способа их решения (от связности операций, от соотношения арифметических, логических и пересылочных операций и т. д.). Опыт использования ЦВМ широкого назначения показал, что для них справедливы следующие соотношения между объемами программ и различной адресностью команд: $M_1/M_2=1{,}05-1{,}53$, а $M_1/M_3=1{,}3-1{,}85$, где M_1, M_2, M_3 — соответствующие количества команд для программной записи алгоритмов решения различных классов задач. Если в каждую ячейку записывать по одной команде, то наиболее громоздкой явится одноадресная программа. Однако в большинстве случаев в одной ячейке, соответствующей одной трехадресной (или двухадресной) команде, размещаются две одноадресные. Поэтому с точки зрения экономичного использования ОЗУ предпочтительней одноадресная структура. $N_1/N_2=0{,}64$, а $N_1/N_3=0{,}76$, где N_1, N_2, N_3 — количество ячеек ОЗУ для записи соответственно одно-, двух- и трехадресных программ;

4) скорость вычислений. Она зависит от типа решаемой задачи, соотношения времени выборки чисел из ОЗУ и времени выполнения арифметич. и логич. операций, а также от уд. в. различных операций (арифметических, логических, пересылок и др.). В довольно широком диапазоне задач справедливы следующие зависимости:

$$T_2-T_1=(0{,}60\tau_1-0{,}40\tau_2)\,n_{ар},$$
$$T_3-T_1=(1{,}44\tau_1-0{,}56\tau_2)\,n_{ар},$$

где T_1, T_2, T_3 — время выполнения эквивалентных одно-, двух- и трехадресных программ; τ_1 — время передачи операнда из ячейки ОЗУ в регистр АУ; τ_2 — время выборки очередной команды из ОЗУ; $n_{ар}$ — количество арифметич. команд, выполняемых в течение всего цикла вычислений. Указанные зависимости были получены при следующих допущениях: $n_{пер}/n_{ар}\approx 0{,}56$, $n'_{пер}/n_{ар}\approx 0{,}16$, где $n_{пер}$ — количество выполняемых команд пересылок из АУ в ячейку ЗУ и обратно ($n_{пер}$ — для двухадресных команд). Большинство практич. задач соответствует этим предположениям. Полные зависимости несколько усложняются:

$$T_2-T_1=(n_{ар}-n_{пер}-n'_{пер})\,\tau_1-(n_{пер}-n'_{пер})\,\tau_2,$$
$$T_3-T_1=(2n_{ар}-n_{пер})\,\tau_1-n_{пер}\tau_2.$$

Помимо этих факторов, при выборе адресности машин приходится считаться и с удобством программирования. К сожалению, твердого установившегося мнения по этому поводу нет. Очевидно, трехадресную систему команд следует считать более удобной для ручного программирования, т. к. она лучше всего отражает естеств. логику выполнения операции (выбрать два операнда, выполнить операцию и записать результат). Для ЦВМ с автоматизиров. системами программирования этот фактор не играет роли.

Выбор объема ОЗУ. Объем ОЗУ определяется длиной программы решения задачи, количеством исходных данных для решения, связностью алгоритма решения, особенностями конструктивных решений ЗУ различных типов (оперативное, внешнее, буферное и др.). Поэтому методика выбора оптимального объема (с точки зрения эффективного быстродействия) конкретизируется в каждом случае отдельно. Один из возможных вариантов такой методики (использован при разработке ЦВМ «Киев») применительно к ферритовому кубу сводится к следующему. Обозначив x емкость ЗУ и приняв, что время перемагничивания ферритов характеризуется константой a, время переходных процессов в цепи управления — константой b, можно выразить время обращения к одной ячейке следующей зависимостью: $t_{обр}=a+b\sqrt{x}$. Ср. число операций, выполняемых без обращения к ВЗУ, находится в функциональной зависимости $f(x)$ от объема ОЗУ x. Поэтому время выполнения одной команды в машине

$$t=(s+1)(a+b\sqrt{x})+\tau+2\,\frac{1-\varphi(x)}{f(x)}(c+dx),$$

Продолжение

Параметры ОЗУ: емкость (тыс. слов)	Параметры ОЗУ: время выборки (мксек)	Число блоков магнитной ленты (ВЗУ)	Время выполнения операции (мксек): сложение	Время выполнения операции (мксек): умножение	Ввод и вывод	Примечание
20—160	10	—	200	1400	Перфокарты, перфоленты, печатающее устройство	—
4—32	3,5	—	15 для фиксированной и 100 для плавающей запятых	135	Перфоленты, печатающее устройство	Есть пост. ЗУ на магнитных стержнях 256×256 разрядов для контроли…
2,048	3	—	10 для фиксированной и 10—60 для плавающей запятых	55—70	Перфокарты, перфоленты, печатающее устройство	—
4—32	4,5	—	9,6	36—44	32 различных устройства	Алгол, кобол
»	—	24	7	40	Перфокарты, перфоленты, печатающее устройство, пишущая машинка, аналого-цифровой преобразователь	Используется компилятор FP-6000

где s — адресность машины; τ — ср. время выполнения одной операции АУ машины; $\varphi(x)$ — ф-ция, отражающая долю тех задач, к-рые могут быть решены без обращения к ВЗУ; c — ср. время ожидания ВЗУ; d — время выборки и записи одного кода для ВЗУ. Минимизируя полученную зависимость, определяем $x_{опт}$. Так, для трехадресной машины при $f(x)=x^2$ и $\varphi(x)=0$ (что достаточно хорото отражает реальную картину для универсальных ЦВМ) условия оптимального объема выразятся ур-нием $bx^2\sqrt{x}\ -dc-2c=0$.

Выбор разрядности производится с учетом двух требований: обеспечение макс. точности представления чисел и сохранение требуемой точности результатов при накоплении ошибок округлений в процессе вычислений. Точность представления чисел определяется типом решаемых задач, характером обрабатываемой информации и назначением машины. Ошибки округления компенсируются увеличением разрядности ЦВМ на m_0 разрядов. Конкретное значение m_0 можно определять по следующей методике: в связи с тем, что ошибка округления на i-ом этапе счета распределена равномерно в интервале $\pm{}^1/_2$ единицы младшего значащего разряда, выражение для суммарной среднеквадратичной ошибки, накопленной в течение n шагов вычислений, приводится к виду $\sigma_n=\sqrt{n/12}$. Сумма достаточно большого количества независимых случайных величин подчиняется нормальному закону распределения. Поэтому с вероятностью 0,9 можно утверждать, что суммарная ошибка округления α_n не будет превышать удвоенной среднеквадратичной ошибки $|\alpha_n|\leqslant\sqrt{n/3}$. Отсюда с той же вероятностью вытекает справедливость соотношения $m_0\geqslant{}^1/_2\log_r\frac{n}{2}$, где r — основание системы счисления, в к-рой оперирует машина. Общая разрядность ЦВМ выразится суммой $k=m_т+m_0$, где $m_т$ — количество разрядов, требуемых для обеспечения заданной точности представления результатов решения. При оценке точности получаемых результатов для машин с плавающей запятой следует учитывать возможность потери значащих разрядов при выравнивании порядков.

Оценка надежности осуществляется на основе статистич. данных о работе ЦВМ в течение довольно длительного промежутка времени. Наиболее полно надежность машины характеризуют: а) коэффициент полезного времени работы машины $k_{пв}=(\sum t_i)/T_р$, где t_i — временные интервалы правильной работы машины, суммируются по всему учитываемому интервалу $T_р$ работы машины; б) наработка на отказ (ср. время безотказной работы) $t_{но}=(\sum t_i)/k$, k — количество отказов за исследуемые периоды; в) ср. время восстановления машины при возникновении отказа $t_в=(\sum^k t_s)/k$, где t_s — время устранения s-ой неисправности; г) коэфф. готовности машины, к-рый характеризует работоспособность машины в течение заданного интервала времени. Необходим прежде всего для оценки управляющих машин. Отличается от коэфф. полезного времени тем, что в знаменателе не учитывается время профилактич. работ, проводимых вне операт. ного интервала использования машины. При непрерывной круглосуточной работе маши оба эти коэфф. совпадают.

Эксплуатация. Обслуживание ЦВМ вклю чает следующие мероприятия: 1) техниче скоеобслуживание машины в процессе реше ния на ней задач и отладки программ. Пре полагает: а) установку требуемого для данн задачи или управляемого процесса режи работы машины и функциональную свя устройств (подключение к вычислителю ч части нужного индикаторного, входного и выходного устройства, подбор и подключени требуемого комплекта стандартных програм и т. д.); б) обнаружение, поиск и устранени неисправностей, возникших в процессе ре шения задач. Производится либо с помощь контрольных цепей, либо посредством спец организации программ (см. *Сбой*, *Контроль ЦВМ*, *Контроль схемный*, *Контроль про граммный*, *Испытательная программа*).

2) Подготовку задач к решению и оформление результатов вычислений. Исходные данные, как правило, переводятся с помощью спец. аппаратуры на перфоносители (перфокарты и перфоленты), к-рые затем поступают во входные устройства машины. При больши вычислит. машинах, особенно в вычислит. центрах, для выполнения такой подготовительной работы целесообразно иметь спец. эксплуатац. группы.

3) Профилактич. работы, предусматривающие выявление и замену элементов машины, параметры к-рых приближаются к предельно допустимым. Производятся для предупреждения возникновения сбоев машины в течение определ. интервала времени. Во время профилактич. работ машина проверяется испытат. программами и контрольными схемами в утяжеленных режимах, при к-рых критические элементы начинают вызывать ощутимые нарушения в работе машины (см. *Контроль профилактический*).

4) Сбор и обработку статистич. данных о работе машины. Их производят для: а) оценки эффективности машины при решении того или иного класса задач. Это дает возможность определить производительность машины и ее экономичность и вести сравнение различных машин по этим показателям; б) определения параметров надежности машины. Используется при уточнении области применения машины, при прогнозировании ее поведения в течение заданного интервала времени (особенно важно для ряда управляющих машин и т. д.; в) выявления ненадежных узлов, блоков и элементов; г) определения степени загрузки различных устройств. Устранение возможной диспропорции в производительности связанных звеньев осуществляется либо рациональной организацией решения задач (учет при составлении программ, совмещение ряда процессов обработки информации и т. д.), либо преобразованием структуры соответствующих устройств и изменением комплектации машины (увеличением числа устройств, введением дополнительных регистров и т. д.); д) оценки действенности различных методов профилактич. работ, проверочных режимов и испытат. программ. Статистич. материал фиксируется в спец. журналах, в к-рых отмечаются режим работы машины, количество и характер сбоев, время их возникновения, устранения, место неисправности и способ обнаружения неисправности и т. д.

5) Оформление рабочей документации (спец. сменных журналов), в к-рой отражается проделанная за смену работа, состояние машины и рекомендации следующей смене. По этому журналу осуществляется прием и сдача смены.

6) Диспетчерскую службу на машине, к-рая обеспечивает макс. использование возможностей машины при работе на ней многих, в ряде случаев не связанных между собой потребителей. При наличии в машине мультипрограммного управления в развитой системе независимых входных и выходных каналов координацию решения различных задач с установленными приоритетами можно осуществлять автоматически с помощью спец. диспетчерской программы.

Эксплуатация ЦВМ производится обслуживающим персоналом, состав и количество к-рого определяется хар-ками машины и условиями ее работы (см. *Вычислительный центр*).

К эксплуатации ЦВМ относят и т. н. опытную эксплуатацию, к-рая осуществляется перед запуском машины в серийное произ-во на опытном ее образце и производится разработчиками машины совместно с эксплуатац. группой. Особое внимание уделяется сбору и быстрой обработке статистич. материала по работе машины, а также практич. проверке различных режимов ее использования. Период опытной эксплуатации ЦВМ определяется типом машины и предъявляемыми к ней требованиями. Может иногда составлять несколько месяцев.

Перспективы развития. Выделяют следующие направления развития цифровой вычислит. техники:

1) Повышение производительности (эффективного быстродействия). Достигается: а) повышением скорости срабатывания элементов, из к-рых строится машина. Время переключения элементов 10 *нсек* (для магнитных и ферроэлектрических, параметрических и криогенных элементов) и даже 1 *нсек* (для туннельных диодов). Фирмой «Mullard» (Англия) разработан точечный диод из арсенида галия со временем переключения порядка 0,25 *нсек*. Ведутся работы по дальнейшему повышению быстродействия элементов; б) структурным путем. Он предполагает: макс. временное уплотнение режимов работы всех звеньев машины путем совмещения независимых действий различных устройств; параллелизм работы отдельных элементов, блоков, устройств, обеспечивающий независимую и одновременную обработку различных массивов информации; построение гибких структур, оперативно приспосабливающихся к различным задачам и даже к отдельным этапам одной и той же задачи. Перспективными считаются однородные вычислит. среды (на уровне элементов, блоков, устройств и даже полных вычислит. агрегатов), обладающие способностью самоорганизации при изменении класса решаемых задач или условий эксплуатации.

Из др. путей повышения производительности заслуживают внимания совершенствование внутр. языка и способов представления информации (использование, напр., нек-рых непозиц. систем), ускорение процедуры контроля вычислений введением рациональных контрольных схем (уже к 1963 более 87% всех ЦВМ США обладали встроенным контролем), повышением надежности работы (и за счет этого повышение коэфф. использования машины), совершенствованием организации решения задач и обслуживания машин, оптимизацией программ решения задач и др.

2) Усовершенствование устройств ввода и вывода информации: а) разработка устройств дистанц. ввода информации в машины от произвольного состава потребителей и от устройств выдачи решений задач по обычной городской телефонной сети; б) разработка устройств для непосредств. ввода информации с первичных документов, автоматич. распознавания образов (рукописного текста, графиков, фотоснимков, топографических карт, объемных фигур и т.д.). Амер. фирма «Rabinow Engineering» разработала, напр., устройство автоматич. чтения печатных знаков со скоростью 6600 *зн/сек*. Приняты меры к повышению надежности считывания плохо напечатанных знаков. Оптич. устройство Vidcoscan (амер. фирма RCA) позволяет обрабатывать до 90 000 документов в час со спец. отметками, сделанными карандашом; в) разработка устройств для восприятия звуковых сигналов. Так, фонетич. пишущая машина Оксона — Биллара (США) оперирует со словарем в 100 слов. Предполагается его расширение до 1000 слов, что уже приемлемо для практич. использования. Разработана система SHOEBOX, распознающая с высокой надежностью до 16 слов и даже слова, произнесенные шепотом. Осн. проблемами в этой области считаются обеспечение автоматич. приспособляемости устройств к различным дикторам (различным голосам), повышение надежности распознавания (достигнута надежность порядка 98%) и расширения словаря. В области вывода информации наблюдается тенденция к совершенствованию формы представления результатов решения и повышению производительности выходной аппаратуры. Получают развитие методы представления информации в виде графиков, карт, готовых финансовых документов и т. д. Представляет интерес динамич. отражение результатов обработки информации на экранах на фоне реальной обстановки (топографич. карт, схем и т. д.), фиксация данных в виде микрофильмов, показывающих процесс изменения исследуемых величин, и др. Для повышения производительности выводных устройств перспективны бесконтактные печатающие устройства электростатического (матричного), видеоэлектростатич. и видеофотографич. типов. Бесконтактное алфавитное печатающее устройство амер. фирмы «Radiation» выводит информацию на печать со скоростью 31250 строк в мин.

Расширение логических возможностей ЦВМ связано с построением ЦВМ с адаптируемой структурой и *обучающихся машин*.

Уменьшение габаритов и повышение надежности ЦВМ позволяет не только повысить их производительность (за счет уменьшения коммуникаций и снижения непроизводит. работ), но и значительно расширить сферу применения в область, выходящую за рамки непосредств. контроля со стороны человека (напр., в области автономного управления межпланетными кораблями). Резкое снижение

габаритов ЦВМ достигается использованием *молекулярной электроники*.

Помимо существ. повышения плотности монтажа, в данном случае становятся реальными перспективы полной автоматизации произ-ва ЦВМ и введения значит. избыточности для повышения надежности работы. Так, амер. ракетная ЦВМ «Monica-C», обладающая весьма большими вычислит. возможностями (емкость ЗУ до 32 768 30-разрядных слов, скорость работы 100 тыс. сложений в сек. и 40 тыс. умножений в сек.), имеет объем 8,5 $дм^3$ и вес ок. 20 *кг*. Потребляемая мощность 192 *вт*. 95% всего оборудования машины выполнено на твердых схемах. Большой интерес представляют разрабатываемый в Стадфордском ин-те (США) метод электронномикроскопич. формовки, позволяющий в принципе достичь плотности упаковки свыше 10^9 элементов в $см^3$ (предполагают, что мозг человека имеет ок. 10^7 элементов в $см^3$). Ориентация на принципиально новые физ. принципы и технологию открывают огромные возможности в области повышения надежности с помощью многократного резервирования и использования мажоритарной логики. Наряду с этим развиваются принципы автоматич. оперативного контроля с помощью спец. схем. Совершенствуются методы автоматич. контроля схем в процессе их произ-ва. Подобная проверка схемы, имеющей до 5000 соединительных проводников, с использованием ЦВМ может производиться за 2 мин. Введение новейших методов технологии, проверки изготовления и автоматич. самовосстановления позволили получить существ. скачок в области повышения надежности ЦВМ. Такая машина, как TRW-130, проработала без отказа 8500 час.; потери полезного времени англ. ЦВМ «Elliott-803» (включая профилактику) — не более нескольких мин. в год. Ср. время наработки на отказ ЦВМ «Filicia» — более 2 лет. Предполагаемая наработка на отказ амер. ЦВМ «Monica-J» 67000 час. Массовое внедрение молекулярной электроники, открывающей новую эру в области вычислит. техники, ожидается в 1968—72 гг.

Лит.: 1) Глушков В. М., Ющенко Е. Л., Вычислительная машина «Киев», Киев, 1962; 2) Гутенмахер Л. И., Электронные информационно-логические машины, 2 изд., М., 1962; 3) Китов А. И., Криницкий Н. А., Электронные цифровые машины и программирование, 2 изд., М., 1961; 4) Кибернетический сборник. Сб. переводов, [№] 2, М., 1961; 5) Линский В. С., О выборе рационального количества адресов цифровой вычислительной машины, «Вопр. теории математических машин», 1958, № 1; 6) Лоскутов В. И., Управляющие математические машины, М., 1962; 7) Система обработки информации Минск-22, [Минск], 1963; 8) «Computers and Automat.», 1964, v. 13, № 5; 9) «Automatic Data Processing Newsletter», 1964, v. 8, № 23; 10) «Electronic Ind.», 1963, v. 22, № 4, p. 27; 11) «Computers and Automat.», 1961, v. 10, № 6, p. 133—37.

И. А. Данильченко.

ЦИФРОВОЙ АНАЛОГ [numerical analogue; analogue (modèle) numérique; Digital-Analog] — специализированное вычислит. устройство, воспроизводящее заданные соотношения методом прямой аналогии. Для представления исходных величин в Ц. а. наиболее часто используются способы *дельта-модуляции* (ДМ) и разностно-дискретной модуляции (РДМ), согласно к-рым исходная величина представляется последовательностью электрич. импульсов, действующих в определенные фиксированные моменты времени t_n. Каждый такой импульс имеет смысл величины $a_\xi(t_n)\delta_\xi$, где $a_\xi(t_n)$ — коэфф., к-рый принимает либо значения $+1$ и -1 в случае ДМ, либо значения $+1, 0, -1$ в случае РДМ, а δ_ξ — масштаб, размерность к-рого совпадает с размерностью представляемой исходной величины ξ. В таком способе представления для текущих значений $\xi(t_n)$ величины ξ справедливо соотношение

$$\xi(t_n) = \xi(t_0) + \delta_\xi \sum_{i=1}^{n} a_\xi(t_i),$$

где $\xi(t_0)$ — значение величины ξ в момент начала отсчета. Иногда в рассмотрение вводится также скорость изменения представляемых величин, к-рую приближенно можно выразить соотношением

$$\frac{d\xi(t_n)}{dt} \approx \frac{\delta_\xi \sum_{i=m}^{n} a_\xi(t_i)}{\delta_t (n-m)}; \quad m < n,$$

где δ_t — масштаб времени или величина шага квантования оси времени. Обычно пользуются безразмерной скоростью v_ξ, определяемой по

$$v_\xi = \frac{\delta_t}{\delta_\xi}\frac{d\xi}{dt} \approx \frac{\sum_{i=m}^{n} a_\xi(t_i)}{n-m}; \quad m < n.$$

Ц. а. строятся на основе тех же элементов, что и цифровые вычислит. устройства. Простейший Ц. а. — обычный электронный *счетчик импульсов*, на вход к-рого поступают электрич. импульсы, следующие с определ. скоростью. Если эта скорость представляет силу электрического тока, то число, накопленное в счетчике к каждому данному моменту времени, представляет соответствующий электрич. заряд. Подобный метод позволяет строить Ц. а. электрич. схем, содержащих сопротивления, индуктивности и емкости [1]. К классу Ц. а. относятся также более сложные устройства, служащие для образования различных функций и используемые в составе систем управления металлообрабатывающими станками [2].

Лит.: 1) Дроздов Е. А., Цифровые аналоги, «П», 1957, № 5; 2) Цифровые аналоги для систем автоматического управления, М.—Л., 1960.

А. В. Шилейко.

ЦИФРОВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗАТОР (digital differential analyser; analyseur différentiel numérique; Digitaldifferentiator, Digitalanalysator) — специализированная вычислит. машина, состоящая из отдельных функциональных блоков — цифровых интеграторов. Вычислит. операции внутри интеграторов выполняются над машинными величинами, представляющими входные данные в цифровой форме. Данные от блока к блоку передаются по методам *дельта-модуляции* (ДМ) и разностно-дискретной модуляции (РДМ) (см. *Цифровой аналог*).

Когда на вход dx/dt цифрового интегратора (рис.) поступает электрич. импульс, имеющий смысл единичного приращения независимой переменной x, число из регистра Y передается в регистр R и суммируется с предыдущим его содержимым. Если при этом емкость регистра R превышена или, др. словами, когда получающееся в результате очередного суммирования число $r(n)$ оказывается бо́льшим, чем B^N (B — основание системы счисления, N — количество разрядов, или емкость регистра R), на выходе dz/dt возникает электрич.

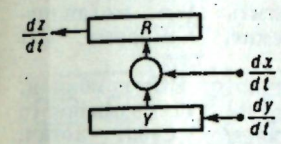
импульс, имеющий смысл единичного приращения выходной величины z. Пусть число в регистре Y равно $y < B^N$. Тогда для образования одного выходного сигнала необходима передача числа y в R-регистр $\frac{B^N}{y}$ раз. Следовательно,

$$\frac{dz}{dt} \approx B^{-N} y \frac{dx}{dt}, \qquad (1)$$

или

$$z(n) \approx z(0) + B^{-N} \int_0^n y\,dx. \qquad (2)$$

Соотношения (1) и (2) — приближенные, поскольку импульсы, имеющие смысл единичных приращений x и y, действуют только в фиксиров. моменты времени и, следовательно, производные dz/dt и dx/dt, имеющие смысл скоростей изменения величин x и z или скоростей следования приращений по соответствующим каналам связи, можно определить только приближенно через конечные разности (см. *Цифровой аналог*). Величина y в соотношении (2) — подынтегральная ф-ция. Ее единичные приращения в виде электрич. импульсов поступают по входу dy/dt и суммируются с содержимым регистра Y.



Блок-схема цифрового интегратора.

Принципы использования Ц. д. а. основаны на предположении, что соотношение (2) реализуется в цифровом интеграторе не приближенно, а точно. В соответствии с этим при решении задач отдельные интеграторы соединяются между собой по определ. схеме «набора», соответствующей схеме набора при работе с АВМ (см. *Аналоговой вычислительной машины применения*, 1). При этом возникает методич. погрешность, к-рая иногда достигает весьма больших значений. Использование для связи между блоками методов ДМ и РДМ вносит 2-й вид погрешности — «погрешность округления», к-рая в отдельных случаях также нарастает достаточно быстро. Из-за наличия отмеч. погрешностей класс задач, допускающих эффективное решение на Ц. д. а., в значит. степени ограничен. Соединения между цифровыми интеграторами, входящими в Ц. д. а., выполняются тремя способами. В Ц. д. а. с последовательной и последовательно-параллельной структурой (см. *Моделирующее цифровое устройство*) входные и выходные сигналы цифровых интеграторов помещаются в спец. ЗУ и коммутируются по программе, также хранящейся в ЗУ. В Ц. д. а., обладающих параллельно-последовательной и параллельно-параллельной структурой, цифровые интеграторы — самостоят. физич. блоки, и соединения между ними осуществляются шнурами, как в АВМ. Существует также способ соединения цифровых интеграторов с помощью т. н. мнемонич. схем. При этом входные и выходные сигналы помещаются в спец. ЗУ, а коммутация их осуществляется по программе, задаваемой в форме соединений гнезд наборного поля.

Лит.: Цифровые дифференциальные анализаторы. Сб. пер. с англ., под ред. Б. Я. Когана, М., 1959; Комбинированные вычислительные машины, М., 1962; Майоров Ф. В., Электронные цифровые интегрирующие анализаторы, М., 1962; Неслуховский К. С., Цифровые дифференциальные анализаторы, М., 1963.

А. В. Шилейко.

ЦИФРОВОЙ МАШИНЫ СЧЕТЧИК (digital computer counter; compteur de la calculatrice numérique; Zählwerk des Digitalrechners) — прибор (схема) для подсчета импульсов (сигналов). Применяется в ЦВМ для подсчета команд программы, при выполнении этапов операций с местным УУ, при обращении к внешним накопителям и др.

По принципу действия различают механические, электромеханические, электронные и др. Ц. м. с.; по применяемому основанию системы счисления — двоичные, десятичные и прочие. Ц. м. с., способные производить как сложение, так и вычитание импульсов, т. е. Ц. м. с. прямого и обратного действия, наз. реверсивными.

Осн. параметры Ц. м. с. — *разрешающее время*, т. е. минимально допустимое время между двумя входными сигналами, при к-ром счетчик нормально функционирует, и *время установления*, т. е. время перехода многокаскадного Ц. м. с. из одного устойчивого состояния в другое, или макс. частота работы Ц. м. с.

Входные сигналы практически всегда имеют двоичную природу, хотя для подсчета может использоваться любая система счисления. Число импульсов N в M-каскадном счетчике в p-ичной системе счисления определится выражением: $N = \sum_{m=1}^{M} p^{m-1} K_m$, где $K_m = 0, 1, \ldots, (p-1)$ — значение m-ого каскада (элемента) счетчика. M-каскадный Ц. м. с., к-рый принимает весь последовательный ряд значений N от 0 до $p^M - 1$ и затем повторяет их, наз. Ц. м. с. по основанию (модулю) p^M. Трехкаскадный двоичный Ц. м. с. ($p=2$, $M=3$) с последовательным и параллельным переносом между каскадами (рис. 1) будет считать по модулю 8. В общем

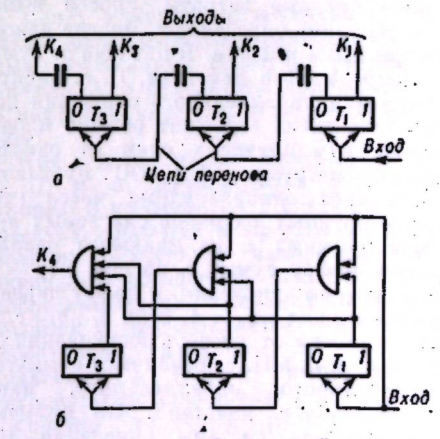


Рис. 1. Трехкаскадный двоичный счетчик: *а* — с последовательным переносом; *б* — с параллельным переносом.

случае перенос в $(m+1)$ каскад Ц. м. с. возникает при переходе m-ого каскада из состояния $(p-1)$ в 0. Каждый каскад двоичного Ц. м. с. представляет запоминающий элемент с двумя устойчивыми состояниями (триггер). Каскад десятичного Ц. м. с. обладает десятью устойчивыми состояниями и образуется, как правило, из нескольких (напр., четырех,

рис. 2) двоичных каскадов исключением избыточного числа устойчивых состояний различными логич. методами. Наряду с этим в качестве элемента десятичного Ц. м. с. часто

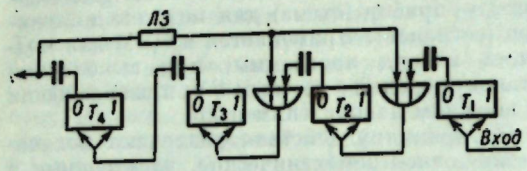


Рис. 2. Элемент (каскад) десятичного счетчика.

используются спец. счетные лампы: газонаполненные и вакуумные. В качестве коммутирующих и управляющих схем чаще применяются кольцевые счетчики из двоичных элементов (кольцевые пересчетные схемы или кольцевые коммутаторы). В Ц. м. с. такого типа в состоянии *1* находится только один двоичный элемент, причем при пересчете это единичное состояние передается последовательно по кольцу от одного элемента к др. Простейшим примером кольцевого счетчика служит обычный регистр сдвига. Ц. м. с., во все каскады к-рого параллельно можно вводить код, осуществляет ф-цию *сумматора* и иногда наз. накапливающим сумматором или аккумулятором.

Лит.: Майоров Ф. В., Электронные регуляторы, М., 1956; Ричардс Р. К., Элементы и схемы цифровых вычислительных машин, пер. с англ., М., 1961.

Г. Б. Смирнов.

ЦИФРОВОЙ СУММАТОР [digital adder; additioneur (totalisateur) numérique; Digitaladdierer] — устройство (прибор, схема) дискретного действия, выполняющее операцию арифметич. сложения двух чисел. Т. к. действия над кодами чисел и команд (вычитание, умножение, деление, модификация кодов и др.) сводятся, как правило, к операциям сложения и сдвига, то Ц. с. является одним из осн. узлов ЦВМ и его хар-ки (быстродействие, аппаратурные затраты, способ выполнения операций) определяют многие важные параметры ЦВМ в целом. В отличие от сумматоров непрерывного действия, Ц. с. дискретного типа для параллельного сложения двух n-разрядных чисел содержат обычно n одноразрядных суммирующих схем [n одноразрядных сумматоров (ОС)]. ОС производит сложение трех одноразрядных чисел (двух цифр одноименных разрядов слагаемых a_i, b_i и цифры переноса c_i из младшего разряда) и образует цифру суммы s_i по mod p (p — основание системы счисления) и цифру переноса в старший разряд $c_{i+1}=1$, если $a_i+b_i+c_i \geqslant p$.

В зависимости от способа поступления разрядов слагаемых в Ц. с. различают сумматоры последовательного, параллельного, параллельно-последоват. действий. По применяемому основанию системы счисления Ц. с. бывают для однородных систем кодирования (двоичные, троичные, десятичные и т. п.) и для смешанных систем кодирования (двоично-пятиричной системы, системы счисления в остаточных классах и др.). По принципу действия (по типу применяемых ОС) различают сумматоры: комбинационные (функциональные, кодово-позиционные); накапливающие (счетно-импульсные); амплитудные [сумматоры Кирхгофа, в к-рых суммируются нек-рые физич. величины (токи или напряжения) и к-рые обычно работают по мажоритарному принципу]; матричные, или табличные, в к-рых исходные цифры слагаемых являются адресами результата, выбираемого из двухкоординатной запоминающей матрицы.

По способу передачи единицы переноса между разрядами Ц. с. разделяют на сумматоры (в основном, двоичные) с последовательным переносом, параллельным (сквозным) переносом, с групповым переносом, с одновременным (независимым) переносом и др.

Ц. с., время суммирования к-рых постоянно и определяется временно́й диаграммой, наз. синхронными. Ц. с., время суммирования к-рых переменно и определяется моментом окончания распространения переносов, наз. асинхронными. В зависимости от применяемых элементов можно выделить Ц. с. механические, электромеханические, ламповые, и др.

Логика работы двоичного ОС комбинационного типа на 3 входа (ОС-3), иногда называемого полным Ц. с., описывается след. логическими ур-ниями и таблицей истинности:

$$s_i = \overline{a_i}\,\overline{b_i}\,c_i + \overline{a_i}\,b_i\,\overline{c_i} + a_i\,\overline{b_i}\,\overline{c_i} + a_i b_i c_i,$$

$$c_{i+1} = \overline{a_i} b_i c_i + a_i\,\overline{b_i} c_i + a_i b_i\,\overline{c_i} + a_i b_i c_i = a_i b_i + b_i c_i + a_i c_i.$$

Таблица истинности двоичного сумматора на три входа

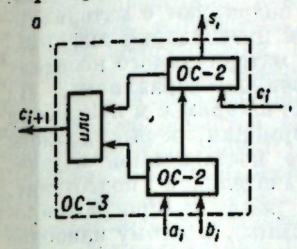
Входы			Выходы	
a_i	b_i	c_i	s_i	c_{i+1}
0	0	0	0	0
1	0	0	1	0
0	1	0	1	0
0	0	1	1	0
1	1	0	0	1
1	0	1	0	1
0	1	1	0	1
1	1	1	1	1

Существует неск. способов построения п ного Ц. с. на базе приведенных ур-ний. Е представить ур-ние для суммы в виде:

$$s_i = (a_i\overline{b_i} + \overline{a_i}b_i)\,\overline{c_i} + \overline{(a_i\overline{b_i} + \overline{a_i}b_i)}\,c_i,$$

то можно заметить, что полный сумматор р лизуется из двух *полусумматоров* (рис. 1 ОС-3 может быть также построен при и средств. реализации исходных ур-ний s_i и c_{i+1} (рис. 1, *б*). Если перенос c_{i+1} жать на время одного цифрового интер (время прохождения одной цифры) и подать на вход c_i, получим последоват двоичный Ц. с., суммирующий два слага разряды к-рых последовательно, нач с младших, поступают на входы сумм Цепочка ОС, соединенных, как показа рис. 2,*а*, образует параллельный двоич Ц. с. комбинац. типа с последовательной дачей единицы переноса (машина «Стр

Пример двоичного ОС накапливающего типа — обычный триггер со счетным входом, на к-рый поочередно поступают одноименные разряды слагаемых и сигнал переноса, при этом триггер производит сложение по mod 2 и устанавливается в положение, соответствующее одной из комбинаций входных сигналов (табл., см. также *Арифметическое устройство*).



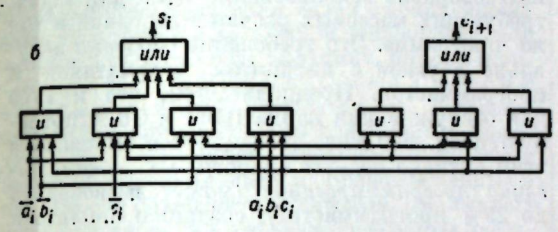


Рис. 1. Блок-схема сумматора на 3 числа.

Параллельный двоичный Ц. с. накапливающего типа с последоват. передачей единицы переноса (машина «Урал-1») показан на рис. 2,*б*. В данной схеме сигнал переноса

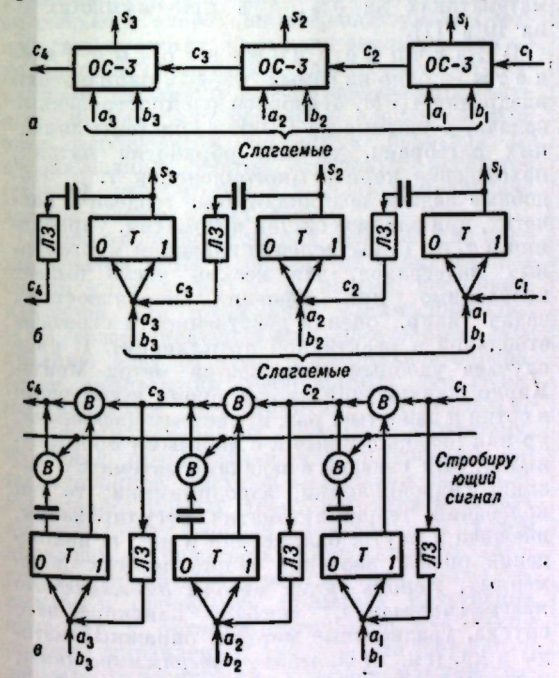


Рис. 2. Параллельный сумматор: *а* — комбинац. типа с последоват. переносом; *б* — накапливающего типа с последоват. переносом; *в* — накапливающего типа с параллельным переносом.

образуется с помощью дифференцирующей ячейки (условно показана в виде емкости) в момент перехода триггера из единичного в нулевое состояние. Для уменьшения времени сложения используются различные методы ускорения переносов путем сокращения числа последоват. каскадов, по к-рым проходит перенос, и сокращения времени задержки в каждом каскаде. Параллельный сумматор накапливающего типа с параллельным переносом (машина БЭСМ) имеет время распространения переноса $nt_з$, где n — число разрядов, $t_з$ — время задержки вентиля, стоящего в цепи сквозного переноса (рис. 2,*в*). Как правило, сокращение времени сложения достигается путем увеличения аппаратуры.

Ц. с. для произвольного основания системы счисления строятся обычно на основе двоичных элементов с использованием изложенных выше правил двоичного сложения или на базе кольцевого счетчика (см. *Цифровой машины счетчик*).

Специфич. группу составляют Ц. с., работающие на элементах (ферритдиодные и ферриттранзисторные элементы, параметроны, схемы динамич. типа), в к-рых информация от каскада к каскаду передается тактовыми (синхронизирующими) сигналами.

Значит. интерес представляет Ц. с. для системы счисления в остатках, для к-рой характерно отсутствие переноса между разрядами, поскольку операции сложения, вычитания, умножения в этой системе являются поразрядными операциями, что приводит к значит. повышению быстродействия суммирующей схемы.

Сравнит. оценку Ц. с. различных типов можно проводить, рассматривая отдельно их быстродействие (время сложения) τ и аппаратурные затраты Q, или объединяя оба эти критерия в пересчете для одного разряда Ц. с. с помощью одного из многих критериев эффективности сумматора, как, напр., $\eta = n/\tau Q$ или $\eta = n/\tau \log_2 Q$, где n — число разрядов Ц. с. Конкретная схема реализации Ц. с. выбирается с учетом оптимального соотношения указанных параметров.

Лит.: Карцев М. А., Арифметические устройства электронных цифровых машин, М., 1958; Ричардс Р. К., Арифметические операции на цифровых вычислительных машинах, пер. с англ., М., 1957.

Г. Б. Смирнов.

ЦИФРОВЫЕ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ автоматические (digital measuring devices; appareils de mesure numériques; Digitalmeßgeräte) — измерит. приборы, в к-рых измеряемая величина X автоматически опытным путем сравнивается с дискретными значениями известной (образцовой) величины N и результаты измерения выдаются в цифровом виде (см. *Измерение автоматическое*).

При выполнении операций сравнения в Ц. и. п. производится квантование по уровню и времени (см. *Дискретизация*, *Квантование*) значений непрерывных измеряемых величин. Результат измерения (численный эквивалент измеряемой величины) образуется после выполнения операций цифрового кодирования и представляется в избранном коде (десятичном, двоичном и др.). Операции сравнения в Ц. и. п. выполняются спец. устройствами сравнения (см. *Нуль-орган*).

Обычно конечный результат измерения в Ц. и. п. получается после запоминания и нек-рой обработки результатов отдельных операций сравнения X с различными значениями N (так же может производиться сравнение известных долей X с N, имеющей одно значение). Числовой эквивалент X в Ц. и. п. представляется с помощью выходных устройств в виде, удобном для восприятия, а в необходимых случаях — в виде, удобном для ввода в ЦВМ или в систему автоматического управления (в этих случаях Ц. и. п. часто называют аналогово-цифровым

преобразователем). В качестве выходных устройств используются световые цифровые индикаторы, печатающие машинки, перфораторы, магнитные записывающие устройства и т. п. (см. *Печатающее устройство*, *Выходной прибор телеизмерения*). В общем случае Ц. и. п. содержат блок формирования образцовой величины N или набор заранее сформированных величин N, устройства сравнения, логич. устройства (с необходимыми элементами памяти) и выходные устройства. В автоматич. Ц. и. п. обязательно наличие устройства, обеспечивающего управление работой его функцион. узлов. Кроме обязательных функцион. блоков, Ц. и. п. может содержать дополнительные, напр. преобразователи непрерывных величин X в промежуточные непрерывные величины. Такие преобразователи используются в Ц. и. п. в тех случаях, когда промежуточную X можно более просто измерить, чем исходную. К преобразованиям X в электрич. величины прибегают весьма часто при измерении разнообразных неэлектрич. величин, в свою очередь, электрические часто представляются эквивалентными интервалами времени и т. д.

В Ц. и. п. используются известные методы автоматич. измерений и измерит. схемы. Наличие дискретных N определяет специфику гл. обр. способов сравнения. X и N можно сравнивать методами уравновешивания и совпадения. При 1-м методе управление изменением значений N производится до тех пор, пока не будет обеспечено равенство (с погрешностью дискретности) значений X и N или эффектов, ими производимых. По 2-му методу все значения N одновременно сравниваются с X, и значение X определяется по совпавшему с ним (с погрешностью дискретности) значению N. При методе совпадения обычно используется одновременно неск. устройств сравнения (см. *Амплитудный дискриминатор импульсов*, *Анализатор амплитудный*), либо X имеет возможность воздействовать на одно общее устройство, считывающее совпавшее с ним значение N (см. *Кодирующая электронно-лучевая трубка*). Различаются методы следящего, развертывающего (см. *Динамическая компенсация*) и поразрядного (см. *Кодирующее устройство*) уравновешивания, а также методы совпадения со следящим счетом или следящим считыванием, периодич. счетом или периодич. считыванием результатов сравнения. Ц. и. п. бывают на контактных или бесконтактных элементах. В первом случае, как правило, Ц. и. п. обладают относительно невысоким быстродействием (порядка до 10 *изм/сек*) и могут быть высокого класса точности (до 0,05%); во втором — высоким быстродействием (до 10^4 *изм/сек*) и относительно невысоким классом точности (до 0,1—0,5%). Ц. и. п. применяются для измерения широкого класса электрич. и неэлектрич. величин.

Лит.: Цапенко М. П., О классификации цифровых измерительных приборов, «ИТ», 1961, № 5; Клейн М. Л., Морган Г. С., Аронсон М. Г., Цифровая техника для вычислений и управления, пер. с англ., М., 1960; Нетребенко К. А., Цифровые автоматические компенсаторы, М.—Л., 1961; Гитис Э. И., Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств, М.—Л., 1961; Хризман С. С., Цифровые измерительные приборы, Киев, 1963. *М. П. Цапенко.*

ЦИФРОВЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ МАШИН ПРИМЕНЕНИЕ [digital computer applications; application de calculateur (ou calculatrice) numérique; Digitalrechenmaschinenanwendung]. ЦВМ применяются для усиления мыслительной способности человека. В отличие от любых других машин (в прямом смысле слова), к-рые оперируют с материальными объектами, ЦВМ преобразуют информацию. При этом форма материального носителя информации существенно безразлична. На первый план выступает *алгоритм* и *программа* преобразования информации, к-рые должны обеспечивать решение поставленной задачи. Ц.в.м.п. требует значительной подготовительной работы (выбор метода решения, программирование, отладка программы). Поэтому наиболее целесообразно использование ЦВМ для задач, требующих массовых расчетов по одной и той же программе. Это требование особенно актуально в связи с дефицитом математиков-программистов. Предполагается, что к 1970 г. для обслуживания парка ЦВМ в США потребуется ок. 500 тыс. специалистов. В связи с этим активно ведутся работы по *автоматизации программирования* (может высвободить до 25% программистов); созданию библиотек стандартных программ (см. *Библиотека подпрограмм метод*) (высвободит до 10% математиков); созданию УУ, к-рые должны заменить до 40% операторов; разработке языков *алгоритмических*, что сократит потребность в математиках на 5%, а в программистах — на 10% [1].

1) Научные и инженерные расчеты — одно из самых первых направлений внедрения ЦВМ. Наиболее распространенные задачи, решаемые на ЦВМ: а) системы линейных алгебраич. ур-ний, обработка матриц, нахождение корней многочленов и т. д. Подобные задачи возникают при геодезич. расчетах, при анализе систем автоматич. управления и т. д.; б) вычисление значений многомерных интегралов, что весьма часто бывает необходимо при решении вероятностных задач (напр., оценка действенности стрельбы ствольной и реактивной артиллерии). В ряде случаев удобным оказывается метод Монте-Карло, снижающий иногда время вычислений в сотни и даже тыс. раз; в) системы дифференц. ур-ний (обыкновенные и с частными производными). Они связаны с задачами математич. физики, гидродинамики, аэродинамики, теории колебаний, теории автоматич. регулирования, внешней и внутр. баллистики и др.; г) нахождение оптим. значений ф-ций многих переменных. Используются методы *динамического программирования*, методы наискорейшего спуска, градиентные методы, овражные методы и др. (см. *Нелинейное программирование*); д) составление таблиц различных ф-ций, которых таблиц, таблиц стрельбы и т. д. Исключительно трудоемких вычислений требуют задачи ядерной физики (напр., расчеты прохождения нейтронов через пластинку, определение спектр. состава проходящих нейтронов и поглощенного излучения, отражат. способности пластинки, нахождение критич. значений параметров реакторов и др.). Для решения подобных задач в США была специально создана высокочислит. система большой мощности — «Стретч», предназначенная для лаборатории атомных исследований в Лос-Аламосе.

2) Обработка экономической информации. Решение задач общегосударств. планирования, учета, статистики, финансово-кредитного обеспечения, материально-технич. снабжения, размещения заказов и реализации продукции, оптимизации взаимодействия отдельных пром. звеньев, расчета заработной платы, учета запасов, составления накладных, отчетов, графиков загрузки оборудования, использования рабочей силы и т. д. сопряжено с обработкой больших потоков информации и учетом сложных взаимосвязей объектов управления. Осн. математич. методы, обеспечивающие автоматич. обработку экономич. информации с помощью ЦВМ, — методы *линейного программирования*, динамического программирования, методы статистич. моделирования. Ведутся работы по созданию методов решения задач с нелинейными зависимостями и широкому использованию *игр теории* для обработки экономич. информации.

3) Управление реальными объектами и процессами. Применение ЦВМ в данной области связывается прежде всего с автоматич. решением следующих задач: а) фиксация, сбор и обработка данных о параметрах объектов и процессов, режимах их функционирования, загрузки отдельных звеньев, условий работы и т. д.; б) оптимизация режимов работы и взаимодействия элементов управляемого объекта, прогнозирование поведения объекта, оценка возможности перестройки системы при выходе из строя отдельных ее звеньев и оперативной трансформации технологич. процесса; в) выдача рекомендаций по управлению объектами и процессами обслуживающему персоналу или выработка управляющих сигналов для исполнит. элементов. При этом наблюдается тенденция перехода от автоматизации работы отдельных агрегатов (станков, генераторов и т. д.) к комплексной автоматизации целых систем.

Наиболее прогрессивной формой является применение ЦВМ в рамках интегрированных систем управления, т. е. систем, состоящих из одной или нескольких взаимосвязанных ЦВМ, обеспечивающих во взаимодействии реализацию всех (в идеале) алгоритмов переработки информации, необходимых для функционирования предприятия, относительно каждого из *операндов*, вводимых в систему. Исходная предпосылка для построения интегрированной системы — высокая общность первичных данных (осн. источником к-рых является оперативный контроль за ходом произ-ва) и связность интегрального алгоритма управления предприятием. Последовательное проведение принципа интеграции приводит к органич. сочетанию как ф-ций прямого управления, так и ф-ций обработки данных, относящихся к сфере административно-управленч. работы (учет, планирование, анализ производств. деятельности, материально-технич. снабжение, финансовая работа и пр.). В технич. отношении интеграция позволяет более эффективно использовать затраты на ввод информации от каждого источника; минимизируют затраты на информац. и вычислит. аппаратуру; обеспечивает наиболее радикальное высвобождение административно-управленч. персонала; позволяет наряду с поиском оптимальных решений для различных производств. ситуаций в ритме с произ-вом осуществлять также обработку и выдачу всех необходимых информац. данных руководителям разных уровней управления. Эффективность решений, принимаемых на основе этих данных, резко возрастает за счет повышения оперативности и подготовительной аналитич. обработки информации.

Специфич. аппарат для описания и исследования потоков информации в интегрированных системах — матричные модели. Пусть A — квадратная матрица, элемент a_{ij} к-рой равен 1, если компонента $X_{i=1,(2),n}$ (первичный показатель, сводка, рапорт и т. д.) потока информации, состоящего из n компонент, используется для формирования компоненты $X_j=1,(2),n$. Между компонентами потока существует отношение порядка, позволяющее различать такты в движении потока. На 1-м такте из первичных данных образуются компоненты 1-го порядка. На 2-м такте из первичных данных и компонент 1-го порядка образуются компоненты 2-го порядка и т. д.

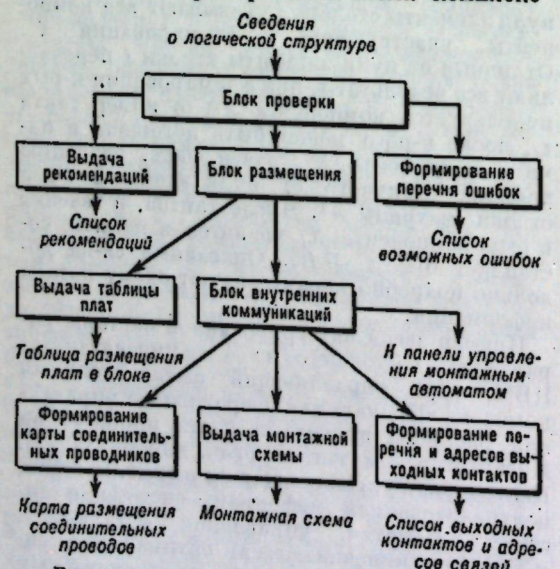
Св-ва модели, состоящей из матриц A^1, A^2, ..., A^λ, ..., A^N: 1) всегда существует такое целое число N, что $A^N>0$, а $A^{N+1}=0$. Число N определяет порядок схемы потока информации; 2) порядок II_j компоненты X_j равен номеру последней матрицы, у к-рой в j-том столбце есть хотя бы один элемент, отличный от нуля; 3) сумма σ^j элементов j-того столбца матрицы A^1 равна числу компонент, входящих в X_j. Аналогично этому сумма σ_i элементов i-той строки равна числу компонент, в формировании к-рых участвует i-тая компонента. Если $\sigma^j=0$, то X_j принадлежит к классу первичных данных. Если $\sigma_i=0$, то X_i принадлежит к классу конечных результатов. Если при нек-ром $i=j$ одновременно $\sigma^j=\sigma_i=0$, то X_i к рассматриваемой схеме отношения не имеет (ошибка обследования); 4) элемент $(i,j)_\lambda$ матрицы A^λ (полученной возведением матрицы A в степень λ) равен числу путей длины λ, ведущих от X_i к X_j. Длина пути измеряется числом тактов перехода от X_i к X_j; 5) число всевозможных путей от X_i к X_j равно $\delta_{ij}=\sum_{\lambda=1}^{N}(i,j)\lambda$. В матрице (δ_{ij}) отличные от нуля элементы столбца j указывают все компоненты, участвующие в формировании X_j. Отличные от нуля элементы строки i перечисляют все результаты, при формировании к-рых используется компонента X_i; 6) номер такта τ_i, после к-рого может быть погашена в памяти компонента X_i, равен макс. значению порядка отличного от нуля элемента i-той строки матрицы A^λ. Число тактов, в течение к-рых компонента X_i хранится в памяти, составляет $0_i=\tau_i-H_i$. Описанные св-ва довольно подробно характеризуют схему потока информации.

Пример звена интегрированной системы управления, состоящего из 4 взаимосвязанных ЦВМ, дает управляющий вычислительный комплекс «Прокат» для оперативного управления раскроем проката и учета произ-ва на Магнитогорском металлургич. комбинате [2]. Центральная управляющая вычислит. машина, централизованная информац. система и системы автоматич. управления «Сталь-1» и «Сталь-2» обеспечивают: а) оптимальное управление раскроем проката на планетарных ножницах непрерывного сортозаготовочного стана («Сталь-1»); б) оперативное планирование последовательности выполнения заказов на заготовки для листового проката, вычисление сечений и раскройных планов, минимизирующих потери металла с учетом

фактич. измеряемых параметров проката, автоматич. управление режущими устройствами, оперативный учет по линии с выдачей необходимых справочных данных («Сталь-2»); в) оперативное назначение плавок на заказы и решение задач оперативного управления потоком металла в контуре управляющего вычислит. комплекса; г) накопление и обработку информации о состоянии произ-ва, о работе производств. участков и агрегатов, о соотношении осн. плановых и фактич. показателей; выдачу на информац. устройства и командно-сигнализац. табло оперативных данных для контроля за ходом произ-ва, а также команд и заданий производств. участкам и агрегатам, системам «Сталь-1» и «Сталь-2», выработанных управляющей ЦВМ; автоматич. ведение и печать всей документации оперативного технич. учета с выдачей отпечатанных документов и перфоносителей для последующего использования в др. звеньях интегрированной системы.

4) **Управление научными и инженерными разработками.** Данная область охватывает планирование и организацию разработок и теоретич. исследований. Для планирования и оперативного отражения хода крупных разработок применяется в США система «ПЕРТ», в СССР—система типа АСОР (автоматич. система организации работ), предусматривающие составление и исследование с помощью ЦВМ графика хода разработок, а также текущий контроль и анализ его выполнения (см. *Управление операциями*).

5) **Проектирование и технологические расчеты.** Включают в себя составление технич. проектов и нахождение оптим. принципиальных решений при разработке отдельных устройств и целых систем. В ряде случаев разработка системы доводится до получения монтажных схем и выработки программ работы монтажных автоматов. На рис. дана для примера блок-схема комплекс-



Блок-схема системы программ автоматизации монтажных работ.

ной программы DIPS, предусматривающей автоматизацию с помощью ЦВМ процесса построения монтажных схем новой системы передачи данных [5]. Сведения о логич. структуре системы вводятся в блок проверки, анализирующий входные данные для выявления возможных ошибок за счет несоответствия логич. построений возможностях конструктивных элементов и монтажных автоматов. В результате анализа выдается перечень ошибок и рекомендаций по их предупреждению. Затем проводится оптим. размещение конструктивных элементов (плат) с фиксацией в соответствующей таблицы (блок размещения) и блок выдачи таблицы плат). Блок внутренних коммуникаций отрабатывает рациональное соединение элементов каждой платы и формирует программу работы монтажного автомата. Остальные блоки обеспечивают вывод на печать монтажной схемы, перечня и адресов выводимых контактов, а также карты расположения соединит. проводников. Для обработки по этой программе данных представлении монтажных схем блоков, содержащих до 640 транзисторов, размещенных на платах, требуются ОЗУ емкостью до 32 слов и довольно обширный набор ВЗУ для хранения очередных данных и библиотеки программ. Проведение всех расчетов для такого блока требует при этом всего 12–15 мин. работы ЦВМ типа ИБМ-704. Стоимость монтажных схем, составленных при помощи ЦВМ, сокращается по сравнению с обычными ручными методами примерно в десять раз. Кроме того, можно практически исключить и монтажные ошибки.

6) **Накопление, обработка и поиск научно-технической информации** охватывает просмотр, реферирование и классификацию научной лит-ры, обработку патентных материалов, автоматизацию тематич. поиска лит-ры, обработку статистич. сведений о пром-сти, с. х-ве, транспорте (сводки, таблицы, графики), накопление и систематизацию историй болезней для обобщения симптомов и автоматич. диагностики, обработку данных о различных явлениях природы, поступающих от многочисл. станций и пунктов наблюдений, и т. д. Выполнение этих работ вручную требует необычайно больших затрат времени, а в ряде случаев вообще практически невозможно. Широкое применение ЦВМ в рассматриваемой области предполагает использование эффективных читающих автоматов, ЗУ огромных объемов, ассоциативных принципов поиска информации и т. д. Много внимания уделяется проблеме автоматизации перевода с одного языка на другой. Привлекают внимание возможности применения ЦВМ для диагностики заболеваний, для исследования энцефалограмм и электрокардиограмм, для обработки лабораторных анализов и т. д.

7) **Военное дело** связано с разработкой стратегич. и оперативных планов, учетом кадров, организацией перегруппировок войск, материально-технич. снабжением войск, их посредств. управлением боевой техникой. Для автоматизации этих задач используется широкий круг ЦВМ — от сверхмощных вычислительных систем до миниатюрных бортовых машин.

8) **Программированное обучение** предполагает автоматизацию процессов изучения различных предметов с помощью ЦВМ (см. *Обучающая машина*).

9) Автоматич. *распознавание образов* — одна из актуальнейших проблем вычислит. техники. Она возникла в связи с постоянно возрастающим объемом информации, к-рая нуждается в первичной ручной обработке перед вводом в ЦВМ. Сюда относится опознавание печатных и рукописных символов, опознавание изображений (фотоснимков, топографич. карт и т. д.), опознавание объемных фигур. Интересные результаты в этой области получены с помощью машин типа персептронов (см. *Узнающая машина*). Так, система «Конфлекс-1» (фирма «Scope») обеспечивает точность опознавания 99,6% при обучении на образцах 48 различных классов (каждый по 100 различных элементов).

10) В области *психологии инженерной* ЦВМ могут быть использованы при анализе особенностей зрительных восприятий, двигат. навыков, реакций, процессов памяти, методов анализа и т. д.

Лит.: 1) «Computers and Automat.», 1964, v. 13, № 1; 2) Nikolajev N. S., Epstein V. I., «Hutnické listy», 1962, roč. 17, № 5, S. 348–53; 3) Ankel Th., Übergeordnete Regelung verfahrenstechnischen Anlagen mit Digitalrechnern, в кн.: VDE Buchreihe, Bd 8, B., 1962, S. 279–301; 4) Автоматическое оперативное управление подготовительными процессами. Тр. 1 Всес. конференции по автоматическому оперативному управлению (в печати); 5) «Communication and Electronics», 1961, № 57, p. 509–13. *И. А. Данильченко, В. Л. Эпштейн.*

ЦОКОЛЬ ЛАМПЫ (tube base; socle de tube électroniques; Röhrensockel) — часть электронной лампы, посредством к-рой осуществляется разъемный контакт электродов ламп с электрич. схемой. Основа материала для цоколей приемно-усилит. и маломощных генераторных ламп — пластмассы (бакелит, карболит и др.). Цоколь стеклянных ламп имеет вид стакана, в дне к-рого крепятся штырьки. Крепление цоколя к стеклянному баллону осуществляется с помощью мастик или цементов, изготовленных на основе искусств. смол (бакелитовый лак, идитол) с наполнителем (мраморный порошок). У ламп с металлич. баллоном цоколем служит вкладыш, изготовляемый из пластмассы и закрепляемый непосредственно в баллоне. Встречаются нек-рые типы ламп, у к-рых цоколь состоит из металлич. (никелевого, латунного) стакана и вкладыша, такого же, как у ламп с металлич. баллоном. Цоколи ВЧ ламп должны иметь по возможности малые индуктивности выводов и небольшие диэлектрич. потери. Поэтому вкладыши таких ламп изготовляют из керамики. Высоковольтные выводы анодов, находящиеся под напряжением 500—600 *в* и выше, делаются отдельно от низковольтных, как правило, в куполе баллона. Для соединения со схемой эти выводы изготовляют жесткими или они имеют металлич. колпачки, прикрепляемые к баллону мастикой или цементом. Прочность крепления и влагостойкость цоколя определяются его конструкцией и полимеризацией смол в цоколевочной мастике.

Расположение и присоединит. размеры штырьков в цоколях определяются ГОСТ 7842—58. *Лампы приемно-усилительные* металлич. серии (6Н8, 6Н9, 6Ж8, 6Ж4 и др.) имеют восьмиштырьковые цоколи с направляющим ключом, к-рый исключает неправильное вставление ламп в панель. Подавляющее большинство приемно-усилит. ламп имеет бесцокольную конструкцию. Соединение лампы со схемой осуществляется с помощью жестких выводов-штырьков, к-рые изготовляются из никеля или платинита. Такую конструкцию выводов имеют *лампы миниатюрные*: семиштырьковые (6Н15П и др.) и девятиштырьковые (6Н1П, 6Н2П, 6Ж9П и др.). Контакт электродов сверхминиатюрных ламп (6С6Б, 6С7Б, 6Ж1Б, 6Ж2Б и др.) с электронной схемой осуществляется с помощью гибких выводов, впаиваемых непосредственно в схему.

Цоколи *электронолучевых трубок* аналогичны по конструкции цоколям приемно-усилит. ламп, но имеют большее количество штырьков — 12, 14, 25. Вид цоколей мощных генераторных ламп находится в зависимости от их конструкции.

Лит.: Царев Б. М., Расчет и конструирование электронных ламп, М.—Л., 1952. *А. К. Хрулев.*

Ч

ЧАСТНАЯ МИНИМАЛЬНАЯ ФОРМА (дизъюнктивная) недоопределенной логической (булевой) функции (special minimal form; forme minimale particuliére; Teilausführung in Kleinstbauweise) — неизбыточная дизъюнкция (см. *Алгебра логики*) членов *общей минимальной формы* этой функции, т. е. такая дизъюнкция *минимальных членов* функции, к-рая реализует все *рабочие состояния* и ни одного *запрещенного состояния*, причем удаление из нее любого минимального члена ведет к тому, что пек-рые рабочие состояния не реализуются. При рассмотрении полностью определенных ф-ций понятию Ч. м. ф. соответствует понятие неизбыточной (тупиковой) формы. Ч. м. ф. с наименьшим числом букв (т. е. символов переменных или их отрицаний) в записи наз. минимальной формой. Для построения Ч. м. ф. обычно находятся все простые импликанты ф-ции, образованные дизъюнкцией всех рабочих и неиспользуемых состояний, и находятся такие их неизбыточные (в определенном выше смысле) комбинации, что дизъюнкция импликантов, входящих в каждую комбинацию, реализует (т. е. импли-цирует) все рабочие состояния и, возможно, пек-рые из *неиспользуемых состояний*. Для нахождения таких комбинаций можно воспользоваться обычной таблицей Квайна — Маккласки, употребляемой при *минимизации* полностью определенных ф-ций. В последнее время появились алгоритмы, позволяющие находить отдельные Ч. м. ф. без предварит. нахождения всего множества простых импликантов. Хотя эти методы и не гарантируют получения минимальной формы, число операций, необходимых для нахождения одной Ч. м. ф., значительно меньше числа операций в указанном выше алгоритме, что дает возможность резко увеличить число переменных в минимизируемых ф-циях (до 20—30 вместо обычных 6—7). Построение Ч. м. ф. обычно является промежуточным этапом для отыскания минимальных форм, к-рые выделяются среди Ч. м. ф. непосредственным подсчетом и сравнением числа букв во всем множестве Ч. м. ф. Аналогичные понятия и методы относятся к частным минимальным конъюнктивным формам.

Лит.: Гаврилов М. А., Минимизация булевых функций, характеризующих релейные цепи, «АиТ», 1959, т. 20, № 9; Казаков В. Д., Минимизация логических функций большого числа переменных, там же, 1962, т. 23, № 9.

В. Д. Казаков.

ЧАСТОТА периодического процесса (frequency; fréquence; Frequenz) — количество повторений периодич. процесса в единицу времени. Единица измерения Ч.— 1 *гц* — соответствует Ч. такого периодич. процесса, у к-рого в течение 1 сек. происходит один полный цикл. Для высоких Ч. применяются производные единицы: кгц и *Мгц*. Ч. периодич. импульсных процессов измеряется количеством импульсов в 1 сек. Частота f есть величина, обратная периоду процесса T: $f\ [гц] = 1/T\ [сек^{-1}]$. В теории колебаний, механике, электро- и радиотехнике часто используется величина $\omega = 2\pi f$ — к-рая наз. круговой (угловой, циклич.) частотой и измеряется в *рад/сек*. Понятие Ч. широко применяется в приложении к гармонич. колебаниям (механич. колебания маятников, колебаниям тока, напряжения в электромагнитного поля), к-рые описываются ф-лой $x = A\cos(\omega t + \varphi)$ где x — рассматриваемая величина, A — *амплитуда*, φ — нач. фаза, t — время. В этом случае f — число колебаний в единицу времени (в *сек*).

Исследованный интервал электромагнитных волн охватывает Ч. от близкой к нулю до 10^{23} *гц* (см. табл.).

Диапазон	Частота (гц; границы указаны условно)
Инфранизкие частоты	10^{-1}–1
Низкие частоты	1–100
Промышленные частоты	50–500
Звуковые частоты	15–$2\cdot10^4$
Ультразвуковые частоты	$2\cdot10^4$–10^8
Длинные волны	$(10–30)\cdot10^4$
Средние волны	$(3–30)\cdot10^5$
Короткие волны	$(3–30)\cdot10^6$
Метровые волны	$(3–30)\cdot10^7$
Дециметровые волны	$(3–30)\cdot10^8$
Сантиметровые волны	$(3–30)\cdot10^9$
Миллиметровые волны	$(3–30)\cdot10^{10}$
Субмиллиметровые волны	$3\cdot10^{11}$–$4\cdot10^{12}$
Инфракрасные лучи	$(4–8)\cdot10^{13}$
Видимый свет	$8\cdot10^{14}$–$3\cdot10^{15}$
Ультрафиолетовые лучи	$3\cdot10^{15}$–$3\cdot10^{17}$
Рентгеновские лучи	10^{17}–10^{20}
Гамма-лучи	10^{20}–10^{22}
Кванты космических лучей	10^{22}–10^{23}

Ч. электромагнитного излучения связана с его длиной волны λ соотношением $f = c/\lambda$, где c — скорость распространения электромагнитных колебаний в вакууме. Любой процесс может быть представлен в виде суммы *гармонических колебаний* (спектра). Спектр периодич. процесса содержит дискретный набор частот и наз. линейчатым; общее число составляющих может быть конечным или бесконечно большим. Спектр непериодич. процесса содержит набор колебаний с непрерывно меняющейся Ч. и наз. сплошным.

Термин «Ч.» используется также в теории вероятностей: Ч. к.-л. события есть отношение числа m появлений этого события в данной последовательности испытаний к общему числу n испытаний.

Лит.: Путилов К. А., Курс физики, 6 изд., т. 2, М., 1963; Левин Б. Р., Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике, 2 изд., М., 1960.

Л. Л. Москвитин.

ЧАСТОТА ОПРОСА ВЕЛИЧИН (rate of interrogation; fréquence d'exploration des grandeurs; Abtastfrequenz) — число подключений датчика каждой контролируемой величины к входу измерительного устройства в единицу времени. В системах, основанных на измерении многих величин посредством одного измерит. устройства (напр., в *контроле централизованном*, многоканальном телеизмерении с временным разделением каналов, *обегающего цифрового контроля машинах*), уменьшение Ч. о. в. понижает точность измерения непрерывно меняющихся контролируемых величин, но упрощает конструкцию входного переключателя или позволяет увеличить число контролируемых величин, обслуживаемых одним измерит. устройством. Выбор Ч. о. в. определяется требованиями к точности измерения каждой величины, к-рые диктуются условиями протекания контролируемого произ-ва. При фиксированной Ч. о. в. точность измерения в любой момент времени может быть неск. повышена за счет интерполяции или экстраполяции значений величин, замеренных в дискретные моменты времени, что требует применения соответствующего вычислит. устройства. Более распространена не требующая вычислений ступенчатая аппроксимация, при к-рой значение величины в любой момент времени принимают равным значению этой величины, полученному при ее предшествующем замере.

Ч. о. в. N при ступенчатой аппроксимации поведения величины $X(t)$ во времени рассчитывается:

1) По заданной средней квадратичной погрешности измерения величины σ в любой момент времени и известной корреляц. ф-ции $R_x(\tau)$ случайного стационарного процесса $X(t)$, подлежащего контролю:

$$R_x\left(\frac{1}{N}\right) = R_x(0) - \frac{\sigma^2}{2}.$$

Ур-ния решают относительно искомого N графически либо аналитически при подстановке в ф-лу аналитич. аппроксимации корреляц. ф-ции.

2) По заданному отношению m математич. ожидания суммы длин незамеченных выбросов через контрольный уровень a к общей сумме длин всех выбросов через этот уровень и известной корреляц. ф-ции $R_x(\tau)$ контролируемого случайного стационарного процесса $X(t)$ с нулевым математич. ожиданием и нормальным распределением:

$$R_x\left(\frac{1}{N}\right) = R_x(0)\left[1 - \frac{mR_x(0)}{0{,}026a^2}\right].$$

Ф-ла справедлива при $a\sqrt{R_x(0)} \geqslant 2$.

3) По заданной максимально возможной разности δ между значениями величины, полученными при двух соседних замерах для случая, когда контролируемая величина находится на выходе объекта с монотонным переходным процессом, аппроксимируемым постоянной времени T и коэффициентом усиления k:

$$N = kB/T\delta,$$

где B — максимально возможная амплитуда возмущения на входе объекта.

Лит.: Хлистунов В. Н., О погрешности аппроксимации дискретных методов измерения, «П», 1960, № 5; Ицкович Э. Л., Определение необходимой частоты измерений при дискретном контроле, «АиТ», 1961, т. 22, № 2; Волконский В. А., О погрешностях измерительного устройства, контролирующего изменение переменной величины через равные промежутки времени, там же, № 4; Мандельштам С. М., Погрешность временного квантования при автоматическом контроле, там же, № 6; Шенброт И. М., К расчету основных параметров устройств обегающего контроля и управления по отклонениям, там же., 1962, т. 23, № 10; Рыбашов М. В., К вопросу определения необходимой частоты периодических измерений непрерывного сигнала, там же, 1963, т. 24, № 1.

Э. Л. Ицкович.

ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА [frequency response; réponse en fréquence, caractéristique fréquentielle, caractéristique (courbe) amplitude — fréquence, courbe caractéristique de fréquence; Frequenzgang] — отношение значений выходной величины линейной динамич. системы к значениям входного гармонич. воздействия $\exp(j\omega t)$, рассматриваемое как ф-ция частоты входного воздействия. Если обозначить выходную ф-цию через $A_t \cdot \exp(j\omega t)$, где A_t — оператор системы, то Ч. х.

$$z(t, j\omega) = A_t \cdot \exp(j\omega t)/\exp(j\omega t) \qquad (1)$$

и является комплексной ф-цией угловой частоты ω. Ч. х. можно определять экспериментально, последовательно подавая на вход системы синусоидальное воздействие различной частоты и измеряя реакцию системы. В общем случае нестационарных систем Ч. х. зависит от времени t, т. е. амплитуда и фаза выходной ф-ции — переменные во времени. Если система стационарна, то Ч. х. не зависит от времени, т. е.

$$z(t, j\omega) = \Phi(j\omega). \qquad (2)$$

В этом случае Ч. х. есть отношение преобразования Фурье выходной величины системы к преобразованию Фурье входного воздействия:

$$\Phi(j\omega) = \frac{H(j\omega)}{F(j\omega)}. \qquad (3)$$

Для стационарных линейных систем Ч. х. не зависит от вида входного воздействия. $\Phi(j\omega)$ полностью описывает поведение системы в динамич. режиме. Ч. х. системы можно определить, исходя и из др. полных хар-к системы, напр. Ч. х. связана с *импульсной переходной функцией*; из *передаточной функции* Ч. х. получается путем замены оператора Лапласа на $j\omega$. Ч. х. можно представить в след. виде:

$$\Phi(j\omega) = A(\omega)\exp[j\theta(\omega)], \qquad (4)$$

где $A(\omega) = |\Phi(j\omega)|$ — амплитудная Ч. х.; $\theta(\omega) = \arg \Phi(j\omega)$ — фазовая Ч. х., или в виде:

$$\Phi(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega), \qquad (5)$$

где $P(\omega)$ — вещественная, а $Q(\omega)$ — мнимая частотные хар-ки; для устойчивой и физически осуществимой системы между ними существует взаимно-однозначная связь, выражаемая преобразованиями Гильберта:

$$P(\omega) = -\frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{Q(u)}{u-\omega}\,du, \qquad (6)$$

$$Q(\omega) = \frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\frac{P(u)}{u-\omega}\,du, \qquad (7)$$

где u — переменная интегрирования. Ч. х. сложной системы определяется из частотных хар-к ее звеньев.

Кроме исследования поведения системы в динамич. режиме, Ч. х. используется также для определения установившихся статистич. ошибок системы (см. *Статистический анализ точности динамических систем*).

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954, с. 103—580; Фельдбаум А. А., Электрические системы автоматического регулирования, 2 изд., М., 1957.

Л. П. Сысоев.

ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ВЕЩЕСТВЕННАЯ (real frequency response; caractéristique fréquentielle réélle; realer Frequenzgang) — вещественная часть *частотной характеристики* линейной динамич. системы. Ч. х. в. можно выразить через амплитудную и фазовую частотные хар-ки по ф-ле:

$$P(\omega) = A(\omega)\cos[\theta(\omega)],$$

где ω — угловая частота. Ч. х. в. замкнутой системы можно определить графически из амплитудной фазовой хар-ки с помощью *круговой диаграммы*. *Импульсная переходная функция* устойчивой системы связана с Ч. х. в. ф-лой:

$$W(t) = \frac{2}{\pi}\int_0^{\infty} P(\omega)\cos\omega t\,d\omega, \quad t>0, \qquad (1)$$

а реакция системы на единичное ступенчатое воздействие (*переходная функция* системы) ф-лой:

$$h(t) = \frac{2}{\pi}\int_0^{\infty}\frac{P(\omega)}{\omega}\sin\omega t\,d\omega, \quad t>0. \qquad (2)$$

По виду Ч. х. в., без вычисления интеграла (2), определяют многие хар-ки *переходного процесса* в системе. Ч. х. в. также позволяет осуществить оценки системы перерегулирования.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

Л. П. Сысоев.

ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА МНИМАЯ [imaginary frequency response; caractéristique (réponse) en fréquence imaginaire; imaginärer Frequenzgang] — мнимая часть *частотной характеристики* линейной динамической системы Ч. х. м. выражается через амплитудную фазовую хар-ку по ф-ле:

$$Q(\omega) = A(\omega)\sin\theta(\omega).$$

Ч. х. м. системы в замкнутом состоянии позволяет определять: *импульсную переходную функцию*

$$W(t) = -\frac{2}{\pi}\int_0^{\infty} Q(\omega)\sin\omega t\,d\omega, \; t>0$$

и переходную функцию $h(t)$

$$h(t) = P(0) + \frac{2}{\pi}\int_0^{\infty}\frac{Q(\omega)}{\omega}\cos\omega t\,d\omega, \quad t>0.$$

Л. П. Сысоев.

ЧАСТОТНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ОБОБЩЕННАЯ переходного процесса (generalized frequency response; caractéristique fréquentielle de généralisation; allgemeiner Frequenzgang) — регулярная часть преобразования Фурье переходного процесса $x(t)$ линейной стационарной динамич. системы. Преобразование Фурье переходного процесса имеет вид:

$$X(j\omega) = \int_0^{\infty} e^{-j\omega t}\,x(t)\,dt$$

или

$$X(j\omega) = X_r(j\omega) + X_n(j\omega),$$

где $X_r(j\omega)$ содержит все полюсы, расположенные в верхней полуплоскости, а $X_n(j\omega)$ — все полюсы, лежащие в нижней полуплоскости и на веществ. оси комплексного переменного ω. Обратное преобразование Фурье ф-ции $X_r(j\omega)$ дает регулярную часть $x_r(t)$ переходного процесса $x(t)$, т. е. затухающую ф-цию от времени t:

$$\lim_{t\to\infty} x_r(t) = 0,$$

а обратное преобразование Фурье ф-ции $X_n(j\omega)$ — нерегулярную часть $x_n(t)$, т. е. либо расходящуюся или периодич. ф-цию, либо пост. величину. $X_r(j\omega)$ можно представить в виде:

$$X_r(j\omega) = R_r(\omega) + jS_r(\omega),$$

где $R_r(\omega)$ наз. обобщенной вещественной, а $S_r(\omega)$ — обобщенной мнимой частотными хар-ками переходного процесса $x(t)$. Тогда регулярная часть переходного процесса представляется в виде:

$$x_r(t) = \frac{2}{\pi}\int_0^{\infty} R_r(\omega)\cos(\omega t)\,d\omega$$

или

$$x_r(t) = -\frac{2}{\pi}\int_0^{\infty} S_r(\omega)\sin(\omega t)\,d\omega.$$

Если $X(j\omega)$ не содержит особенностей в нижней полуплоскости, включая вещественную ось, а входное воздействие представляет собой δ-ф-цию, то $X(j\omega)$ есть собств. *частотная характеристика* системы $\Phi(j\omega)$, а $R_r(\omega) = R(\omega)$ и $S_r(\omega) = S(\omega)$ — ее частотные хар-ки: вещественная и мнимая.

Лит.: Основы автоматического регулирования, под ред. В. В. Солодовникова, т. 2, М., 1959.

Л. П. Сысоев.

ЧАСТОТНОЕ РАЗДЕЛЕНИЕ И УПЛОТНЕНИЕ КАНАЛОВ (frequency division multiplexing of channels; séparation et combinaison fréquentielles de canaux; Frequenztrennung und — bündelung in Kanälen) — способы передачи и приема многоканальной информации по общей (уплотненной) физич. цепи при к-ром множество сигналов каждого из *канала связи* отличается от множеств сигналов других каналов связи частотными признаками, присущими каждому из них взаимно-однозначно, что позволяет производить разделение каналов. Пусть, напр., необходимо передать информацию от n источников и при этом выяснить принадлежность информации к соответствующему источнику. Если *информации количество*, передаваемое каждым из источников, имеет энтропию $H_{\text{ист}1} = \lg L_1$, так что при их независимости суммарная энтропия равна $H_{\text{ист}\Sigma} = n\lg L_1 = \lg L_1^n$, то задача сводится к передаче L_1^n дискретных состояний. При установлении взаимно-однозначного соответствия между каждым из состояний n источников и одной из L_1^n дискрет, задача разделения информации по принадлежности ее к соответствующему источнику может быть решена.

Один из возможных способов передачи L_1^n дискрет, содержащих сведения о канальной информации, заключается в применении n-разрядного кодирования (без избыточности) с основанием L_1. С точки зрения передачи информации, равной $H_{\text{ист}\Sigma} = n\lg L_1$, Ч. р. и у. к. — пример применения кода избыточности, т. е. наиболее простого способа передачи информации. Эффективность передачи при Ч. р. и у. к. будет такой же, как и в случае *временнóго разделения каналов* при условии независимости каналов (разрядов). Это требование удовлетворяется, если на выходе приемных устройств индивидуальных каналов при подаче на вход сигнала Y образуется сигнал Z_i вида

$$Z_i = \Phi_i(Y) = \begin{cases} \tilde{U}_i, & Y = U_i \\ 0, & Y = U_j, \quad j \neq i, \end{cases}$$

где $\tilde{U}_i \langle\Rightarrow\rangle U_i$ — сигнал, взаимно-однозначно соответствующий передаваемому сигналу. Приемные устройства, удовлетворяющие этому условию: 1) Фильтры с неперекрывающимися частотными хар-ками для сигналов с неперекрывающимися спектрами. Этот метод имеет принципиальный недостаток, заключающийся в невозможности разделения сигналов с конечным временем передачи без перекрестных искажений, поскольку сигналы с ограниченным временем передачи теоретически имеют неограниченные спектры. Практически применяется соответствующий разнос спектров сигналов по частоте, что приводит к расширению результирующей полосы, занимаемой каналами. Из-за простоты осуществления этот метод широко применяется в телефонии, радиосвязи, радиорелейных линиях для многоканального уплотнения. 2) Корреляторы для дискретных сигналов с определенными параметрами. Соответствующее функциональное преобразование имеет вид:

$$Z_i = \int_0^T Y U_i^{(k)}\,dt = \begin{cases} \tilde{U}_i^{(k)}, & Y = U_i^{(k)} \\ 0, & Y \neq U_i^{(k)}, \end{cases}$$

где $U_i^{(k)}$ — дискрета сигнала i-того канала, $[0, T]$ — отрезок времени передачи сигналов. Указанное отношение отражает требование ортогональности сигналов на отрезке $[0, T]$. Метод позволяет разделять сигналы с перекрывающимися спектрами.

Часто требуется обеспечить минимум результирующей полосы $\Delta f_{\text{рез}}$ при заданном числе каналов n либо, наоборот, при данной полосе $\Delta f_{\text{рез}}$ получить макс. количество каналов. Это сводится либо к требованию уменьшения полосы, занимаемой сигналами индивидуального канала, что достигается изменением статистики передаваемых сообщений или применением узкополосных методов модуляции, либо к требованию уменьшения разноса частот между соседними каналами, что достигается путем повышения качества аппаратуры, уменьшения перекрестных искажений и др.

При Ч. р. и у. к. с фильтрами наименьшая достижимая результирующая полоса, занимаемая канальными сигналами, равна $\sum_{i=1}^{n}\Delta f_{ki}$. Влияние нелинейной хар-ки тракта передачи, содержащей члены со степенями выше второй, приводит к тому, что принципиально невозможно получить такую полосу без перекрестных искажений. Более того, практически нельзя при большом числе каналов произвести их независимое размещение по частоте. Поэтому аппаратуру Ч. р. и у. к. строят с учетом получения макс. линейности тракта, а также применяют наиболее целесообразные в конкретных условиях передачи виды модуляции: однополосную без несущей (в телефонных каналах), ЧМ и др. При малом числе каналов путем такого разноса сигналов по частоте чтобы перекрестные составляющие были бы вне рабочих полос каналов, можно устранить влияние членов нелинейной хар-ки тракта степени не выше третьей. В этом случае результирующая полоса в неск. раз больше $\sum_{i=1}^{n}\Delta f_{ki}$. Если нелинейная хар-ка тракта передачи определяется только квадратичным членом, можно получить наименьшую результирующую полосу $\Delta f_{\text{рез}} = \sum_{i=1}^{n}\Delta f_{ki}$ без перекрестных искажений за счет спец. выбора частот канальных сигналов. Если все центр. частоты каналов равно отстоят друг от друга, т. е.

$$f_{0i} = f_{01} + \Delta f\,(i-1), \quad i = 1, 2, \ldots, n,$$

где Δf — разнос по частоте между соседними каналами, то условие выбора сводится к учету ограничения по минимуму для центр. составляющей 1-го канала

$$f_{01} > \frac{\Delta f}{2}(2n+1).$$

При Ч. р. и у. к. с корреляторами влияние перекрестных составляющих, вызываемых нелинейностями тракта передачи, значительно ослаблено за счет ортогональности канальных сигналов и их произведений.

При Ч. р. и у. к. с фильтрами (рис. 1) канальные сообщения, поступающие от соответствующих источников, подаются на входы преобразователей «сообщение-сигнал». Преобразователи содержат модуляторы M_i с входными и выходными фильтрами Φ_i' и Φ_i'', к-рые осуществляют формирование канальных сигналов $\{u_i\}f_i$ с определ. частотным св-вом. Эти сигналы суммируются и поступают на общий модулятор M, формирующий сигнал, наиболее целесообразный для передачи по линии связи. В месте приема последовательно производятся обратные операции: принятый сигнал поступает на общий демодулятор D, затем на входы канальных преобразователей «сигнал-сообщение». Последние состоят из демодуляторов Di с фильтрами

Φ'_i и Φ''_i. Канальные преобразователи на основе отличит. признака сигналов, принадлежащих одному множеству, производят отождествление канальных сигналов с соответствующими сообщениями.

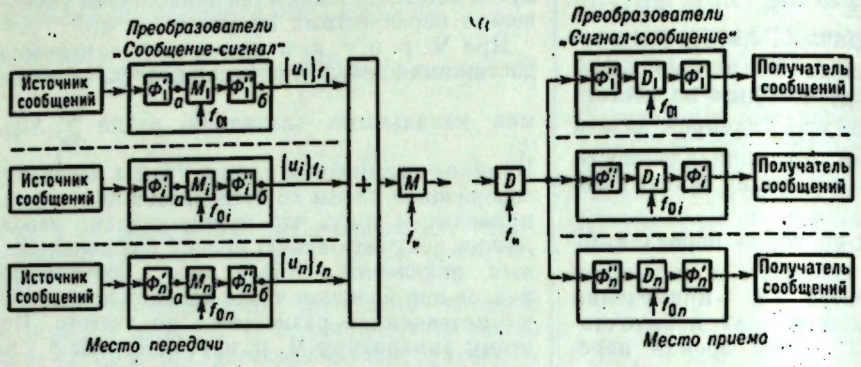


Рис. 1. Структурная схема передачи канальной информации при частотном разделении и уплотнении каналов с фильтрами в качестве разделителей.

При Ч. р. и у. к. с корреляторами (рис. 2) сообщения от канальных источников подаются на входы преобразователей «сообщение-сигнал», формирующих множества дискретных сигналов с определ. частотными св-вами. Каждый i-тый преобразователь содержит ключ к, на вход к-рого подаются сигналы множества $\{U_i\}f_i$. Коммутация ключей производится канальными сообщениями, так что каждому сообщению ставится в соответствие определ. сигнал. Далее сигналы отдельных каналов суммируются и поступают на общий модулятор M. В месте приема входной сигнал демодулируется и поступает на канальные преобразователи «сигнал-сообщение», состоящие из корреляторов с перемножителями и интеграторами $И$ с отсчетом в моменты T. На каждый канальный перемножитель подаются сигналы из множества передаваемых. В результате производится отождествление канальных сигналов с соответствующими сообщениями.

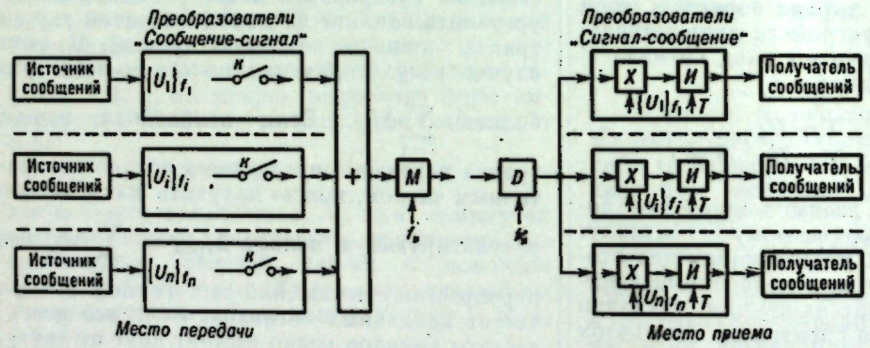


Рис. 2. Структурная схема передачи канальной информации при частотном разделении и уплотнении каналов с корреляторами в качестве разделителей.

При передаче канальной информации, как и информации вообще, необходимо уделять большое внимание способам построения эффективных систем связи. В качестве критерия эффективности обычно берутся информативно-энергетич. критерии, т. е. такие критерии, к-рые характеризуют способность систем передавать заданное количество информации с миним. энергетич. затратами. Из общего рассмотрения вопроса передачи канальной информации следует, что Ч. р. и у. к. (как и временно́е) использует код без избыточности с основанием $L_1 = 2^{H_{\text{ист}_1}}$. Нелинейность тракта передачи группового сигнала уменьшает эффективность Ч. р. и у. к. Причины, влияющие на качество передачи, полностью не могут быть устранены, т. к. всегда имеет место аддитивный шум. Состояние совр. теории информации и теории оптимального приема позволяет определить как существенные хар-ки систем передачи информации, так и методы передачи и приема, дающие возможность вести эффективную передачу при наличии аддитивного гауссова шума. В. А. Котельниковым был определен приемник, дающий потенц. помехоустойчивость для дискретных сигналов с точно известными параметрами. Для сигналов равной энергии этот приемник образует корреляционную ф-цию. Следовательно, при применении ортогональных сигналов равной энергии с определ. параметрами приемник Котельникова обеспечивает хорошее разделение канальных сигналов и эффективный метод приема канальной информации. Можно показать, что для сигналов с неопредел. параметрами принцип работы оптим. приемника также сводится к корреляционному, если в качестве опорных сигналов использовать сигналы со значениями неопредел. параметров, взятыми из их множестве спец. образом. Возможно применение квазиоптимального приемника, когда в качестве опорных сигналов взяты сигналы с оценками неопредел. параметров. Естественно, что неопределенность параметров сигналов понижает как эффективность передачи информации, так и способность различения. Однако наиболее часто встречающийся случай неопределенности амплитуды сигналов не сказывается ни на способности различения, ни на эффективности передачи, если сигналы имеют равные энергии и применяется квазиоптимальный приемник с произвольной оценкой амплитуды.

Лит.: Егоров К. П., Основы многоканальной связи, М., 1964; Инженерно-технический справочник по электросвязи, т. 7, М., 1956; Котельников В. А., Теория потенциальной помехоустойчивости, М.—Л., 1956.

И. В. Четыркин.

ЧАСТОТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЯМИ (frequency control of motors; commande en fréquence de moteurs; Frequenzsteuerung von Motoren) — управление синхронными или асинхронными двигателями путем изменения частоты питающего напряжения. В качестве источника напряжения изменяемой частоты используются электромашинные или статические преобразователи. Ч. у. д. применяется в системах электропривода рольгангов, веретен, в высокоскоростных приводах и т. п.

ЧАСТОТНЫЙ ДИСКРИМИНАТОР (frequency discriminator; discriminateur de fréquence; Frequenzdiskriminator) — см. *Детектор частотный.*

ЧАСТОТНЫЙ МЕТОД в теории автоматического регулирования (frequency method; méthode fréquentielle; Frequenzgangmethode), основанный на наглядных физ. представлениях, позволяет в качестве исходных данных пользоваться не только дифференц. ур-ниями, но и экспериментально полученными частотными харками, служит одним из основных инженерных средств расчета и проектирования САР. Ч. м. впервые получил широкое распространение в радиотехнике, вначале для исследования амплитудных и фазовых искажений при передаче сигналов. В ТАР был введен в 1936—38 А. В. Михайловым [9], к-рый развил Ч. м. анализа устойчивости САР, основанный на результатах Найквиста. Вскоре частотные представления были использованы и для анализа качества САР.

Существенные особенности Ч. м. (кроме сказанного выше): учитывает своеобразие САР — при анализе удобно исходить из рассмотрения их свойств при разомкнутой обратной связи; дает единую общую методику решения основных задач ТАР (анализ устойчивости, качества, переходных процессов, динамич. точности при типовых и случайных воздействиях, матем. описание объектов на основании эксперимент. данных, синтез систем любого порядка, одноконтурных и многоконтурных, содержащих сосредоточенные и распределенные параметры); удобен для инженерных расчетов и проектирования САР с использованием логарифмич. хар-к, номограмм, таблиц и приемов, устраняющих необходимость громоздких вычислений.

Ч. м. применим к непрерывным линейным системам с пост. параметрами; импульсным системам (в частности, системам с ЦВМ); системам с перем. параметрами и на перем. токе; широко применяется для анализа и синтеза нелинейных систем [1, 2, 3, 6]. Ниже приводятся нек-рые сведения о частотных хар-ках и применении Ч. м.

Передаточная ф-ция линейной стационарной динамич. системы, описываемой дифференц. ур-нием:

$$a_n \frac{d^n x}{dt^n} + \ldots + a_1 \frac{dx}{dt} + a_0 x = b_m \frac{d^m f}{dt^m} + \ldots + b_1 \frac{df}{dt} + b_0 f \quad (1)$$

определяется выражением:

$$\Phi(s) = \frac{b_m s^m + \ldots + b_1 s + b_0}{a_n s^n + \ldots + a_1 s + a_0}, \quad (2)$$

где $s = \sigma + j\omega$ — комплексная переменная; функция $\Phi(s)$ — отношение преобразования Лапласа $X(s)$ величины на выходе $x(t)$ к преобразованию Лапласа $F(s)$ величины на входе $f(t)$, т. е.

$$\Phi(s) = X(s)/F(s). \quad (3)$$

При $s = j\omega$, $j = \sqrt{-1}$

$$\Phi(j\omega) = A(\omega) e^{j\varphi(\omega)} = P(\omega) + jQ(\omega). \quad (4)$$

Веществ. ф-ции $A(\omega)$, $\varphi(\omega)$, $P(\omega)$, $Q(\omega)$ наз. амплитудной, фазовой, вещественной и мнимой частотными характеристиками системы (рис. 1). Из ф-л (1), (2), (4) очевидно, что частотные хар-ки могут быть найдены, если задано дифференц. ур-ние системы, и обратно. Частотные хар-ки могут быть найдены и эксперимент. методом, к-рый основан на том, что при подаче на вход линейной динамич. системы гармонич. воздействия

$$f(t) = f_0 \cos \omega t$$

величина на выходе в установившемся состоянии $x_{\text{уст}}(t)$ также изменяется по гармонич. закону:

$$x_{\text{уст}}(t) = f_0 A(\omega) \cos[\omega t + \varphi(\omega)]. \quad (5)$$

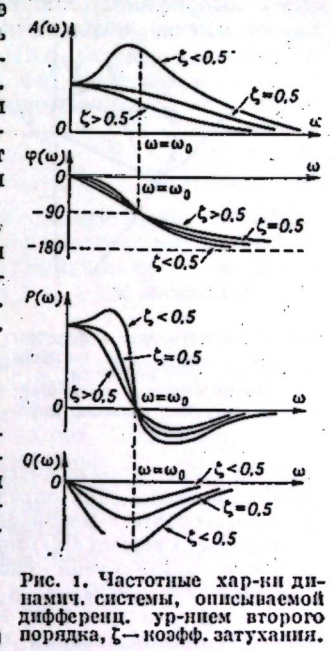


Рис. 1. Частотные хар-ки динамич. системы, описываемой дифференц. ур-нием второго порядка, ζ — коэфф. затухания.

Поэтому, записывая вход и выход системы, напр., при помощи осциллографа, и варьируя частоту ω, можно найти $A(\omega)$ и $\varphi(\omega)$ в виде эксперимент. кривых.

Ч. м. анализа устойчивости САР основан на рассмотрении свойств частотных хар-к системы в разомкнутом состоянии (при разомкнутой обратной связи). Такой подход оказывается удобным потому, что обычно САР состоит из элементов, обладающих направленностью действия [1]. Частотный критерий устойчивости применим к линейным системам, содержащим не только сосредоточенные, но и распределенные параметры: для того чтобы САР, устойчивая в разомкнутом состоянии, была бы устойчива в замкнутом состоянии, необходимо и достаточно, чтобы число оборотов амплитудной фазовой хар-ки $W(j\omega)$ разомкнутой системы относительно точки $(-1, j0)$ при изменении ω от $+\infty$ до $-\infty$ равнялось нулю. $W(j\omega)$ может быть построена, если известна передаточная ф-ция $W(s)$ разомкнутой системы. Между последней и передаточной ф-цией $\Phi(s)$ замкнутой САР существует соотношение:

$$\Phi(s) = \frac{W(s)}{1 + W(s)}. \quad (6)$$

Веществ. ф-ции $H(\omega)$, $\theta(\omega)$, $U(\omega)$, $V(\omega)$, связанные с $W(j\omega)$ при $s = j\omega$ ф-лами:

$$\left.\begin{aligned} W(j\omega) &= H(\omega) e^{j\theta(\omega)}, \\ W(j\omega) &= U(\omega) + jV(\omega) \end{aligned}\right\}, \quad (7)$$

наз. частотными характеристиками разомкнутой системы. Амплитудной фазовой частотной хар-кой наз. кривая $W(j\omega)$, построенная в координатах $U(\omega)$, $V(\omega)$ (рис. 2). Частотный критерий устойчивости легко обобщается на астатич. системы и системы неустойчивые в разомкнутом состоянии [1,2]. Ч. м. в его совр. форме основан на применении логарифмич. частотных хар-к, к-рые можно найти, прологарифмировав первое выражение (7):

$$\ln_e W(j\omega) = \ln_e H(\omega) + j\theta(\omega) \quad (8)$$

и построив кривые $\ln_e H(\omega)$ и $\theta(\omega)$ в полулогарифмич. координатах. На практике в качестве логарифмич. амплитудной частотной хар-ки обычно пользуются не $\ln_e H(\omega)$, а отличающимся от него лишь пост. множителем выражением:

$$20 \lg_{10} | W(j\omega) |, \quad (9)$$

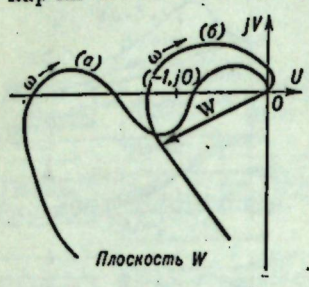


Рис. 2. Амплитудная фазовая хар-ка разомкнутой системы и анализ устойчивости: *а* — замкнутая система устойчива; *б* — замкнутая система неустойчива.

представляющим собой 20 десятичных логарифмов модуля передаточной ф-ции. Удобство применения таких хар-к объясняется простотой их построения. Анализ многоконтурных систем производится при помощи номограмм, позволяющих определить логарифмич. хар-ки соответствующие передаточной ф-ции замкнутой системы $\Phi(s)$ по логарифмическим хар-кам разомкнутой системы.

Матем. основой Ч. м. анализа качества и переходных процессов служат преобразования Фурье и Лапласа, пользуясь к-рыми можно ввести понятие обобщенных частотных хар-к, определяющих переходный процесс $x(t)$ при ненулевых начальных условиях и широком классе воздействий [1,3]. В частном случае нулевых начальных условий и единичного ступенчатого воздействия

$$x(t) = \frac{2}{\pi} \int_0^\infty \frac{P(\omega)}{\omega} \sin t\omega \, d\omega. \quad (10)$$

Задача анализа качества в случае (10) сводится к оценке показателей качества (времени переходного процесса, величины перерегулирования и т. д.) по свойствам веществ. частотной хар-ки $P(\omega)$, без необходимости вычисления интеграла (10). Ф-ция $P(\omega)$ может быть найдена по логарифмич. хар-кам разомкнутой системы (построение к-рых необходимо для анализа устойчивости) при помощи спец. номограмм [3]. К числу свойств $P(\omega)$, позволяющих судить о качестве при ступенчатом воздействии, относятся: критерий малых перерегулирований (для того чтобы величина перерегулирования $\sigma\%$ не превышала 18%, достаточно, чтобы ф-ция $P(\omega)$ представляла непрерывную положит. невозрастающую ф-цию); критерий монотонности (для монотонного протекания переходного процесса достаточно, чтобы ф-ция $P(\omega)$ представляла непрерывную положит. убывающую ф-цию с отрицат. и монотонно возрастающей производной); критерий для нижней границы времени переходного процесса T (если $P(\omega)>0$ при $0<\omega<\omega_n$, то: $T>\pi/\omega_n$).

В основе Ч. м. построения переходных процессов — метода трапецеидальных характеристик, лежит разложение обобщенной частотной хар-ки на трапеции и табулирование переходных ф-ций, соответствующих трапецеидальным частотным хар-кам $p_i(\omega)$. В частном случае ф-лы (10), на трапеции $P_i(\omega)$ разлагается веществ. частотная хар-ка $P(\omega)$ (рис. 3) так, что

$$P(\omega) = \sum_{i=1}^{n} p_i(\omega), \quad (11)$$

$p_i(\omega)$ соответствуют переходные процессы в виде h-ф-ций (табулированные ф-лы). Построение переходного процесса $x(t)$ сводится: к разложению кривой $P(\omega)$ на трапеции; к определению h-ф-ций, соответствующих каждой трапеции; к алгебраич. сложению h-ф-ций. Частные случаи метода трапеций — методы треугольников и прямоугольников [3]. Метод трапецеидальных хар-к применяется и для решения задачи определения частотных хар-к по заданному переходному процессу [4].

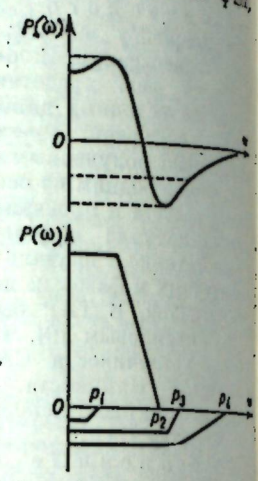


Рис. 3. Разложение вещественной частотной хар-ки в трапеции.

При анализе динамической точности при типовых воздействиях, для точного воспроизведения медленно изменяющихся управляющих воздействий с огранич. частотным спектром, занимающим полосу частот $(0, \omega_a)$, частотные хар-ки систем программного регулирования и следящих систем должны удовлетворять неравенствам:

$$\left.\begin{array}{l} |1-P(\omega)| \leqslant \Delta \\ |Q(\omega)| \leqslant \Delta \end{array}\right\} \quad 0 < \omega < \omega_a, \quad (12)$$

где Δ — достаточно малая величина. Для удовлетворения неравенств (12) достаточно, чтобы

$$|W(j\omega)| \geqslant 1/\Delta, \quad 0 < \omega < \omega_a. \quad (13)$$

В ТАР систематич. ошибки при медленно меняющихся воздействиях принято характеризовать коэфф. ошибки $C_0, C_1, C_2, \ldots, C_i$, связанными с передаточной ф-цией $\Phi(s)$ замкнутой системы соотношением:

$$C_i = \left\{ \frac{d^i}{ds^i} [1-\Phi(s)] \right\}_{s=0}. \quad (14)$$

Пользуясь (14) и полагая $s=j\omega$, коэфф. ошибки можно найти по заданным частотным хар-кам, а также по заданной логарифмической частотной хар-ке разомкнутой системы.

При анализе динамической точности при случайных воздействиях основной частотной статистической хар-кой стационарных случайных воздействий служит спектральная плотность $S(\omega)$ (называемая также энергетич. частотным спектром). Спектральная плотность характеризует распределение энергии по спектру частот воздействия. Среднее значение квадрата ошибки $\overline{\varepsilon^2}$ при воспроизведении воздействия $m(t)$ со спектральной плотностью $S_m(\omega)$ рассчитывается по ф-ле:

$$\overline{\varepsilon^2} = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{S_m(\omega)\, d\omega}{|1+W(j\omega)|^2} \quad (15)$$

и может быть определено, если известны логарифмич. частотные хар-ки разомкнутой системы.

Частотный метод синтеза оптимальных САР позволяет определить схему и числ. значения параметров корректирующих устройств САР по заданным требованиям к динамике и известной передаточной ф-ции объекта регулирования. Первый этап синтеза САР как при типовых [1], так и при случайных воздействиях [4] состоит в том, чтобы по заданным технич. требованиям к динамич. свойствам найти оптимальные передаточную или импульсную переходную ф-цию системы. Затем определяются соответствующие оптимальные и желаемые (обычно логарифмич.) частотные хар-ки. Зная частотные хар-ки (рис. 4) объекта (или части системы), часто вычитанием ординат заданной (2) и желаемой (1) логарифмич. хар-к находят требуемые частотные хар-ки корректирующего устройства. В результате решения задачи аппроксимации определяются передаточная функция, схема и параметры корректирующего устройства.

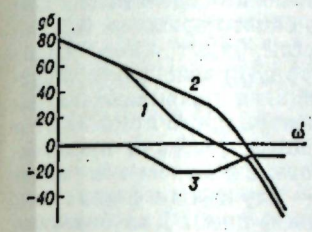


Рис. 4. Частотный метод синтеза корректирующего устройства: *1* — логарифмич. амплитудная частотная хар-ка, желаемая; *2* — то же объекта; *3* — то же корректирующего устройства.

Частотная теория импульсных систем представляет собой довольно полную аналогию частотной теории непрерывных систем [5,8]. Основное отличие импульсных систем от непрерывных, с точки зрения частотных представлений, заключается в том, что импульсный элемент преобразует непрерывный сигнал $g(t)$ с огранич. частотным спектром, т. е. со спектром, удовлетворяющим условию $|G(j\omega)|=0$ при $\omega>\omega_0$, в дискретный сигнал, имеющий периодич. частотный спектр (рис. 5).

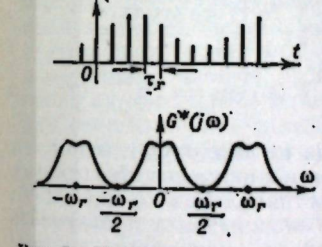


Рис. 5. Частотный спектр непрерывного сигнала на выходе импульсного элемента.

$$G^*(j\omega) = \frac{1}{\tau_r} \sum_{\nu=-\infty}^{\infty} G(j\omega + j\nu\omega_r), \quad (16)$$

где τ_r — период повторения импульсов и $\omega_r = \frac{2\pi}{\tau_r}$. Устойчивость импульсных САР определяется амплитудной фазовой хар-кой непрерывной части системы:

$$W^*(j\omega) = \frac{1}{\tau_r} \sum_{\nu=-\infty}^{\infty} W(j\omega + j\nu\omega_r). \quad (17)$$

В основе Ч. м. анализа качества и переходных процессов в импульсных САР лежит соотношение:

$$X(j\omega) = \frac{W(j\omega)\, G^*(j\omega)}{1+W^*(j\omega)}. \quad (18)$$

При построении $W^*(j\omega)$ обычно ограничиваются небольшим числом первых членов ряда. Ч. м. применяется для анализа систем автоматич. управления с ЦВМ. Осуществляющая линейную операцию над дискретным входным сигналом ЦВМ характеризуется передаточной ф-цией:

$$W_{\text{цвм}}(j\omega) = \frac{b_0 + b_1 e^{-j\tau_r\omega} + \ldots + b_m e^{-jm\tau_r\omega}}{a_0 + a_1 e^{-j\tau_r\omega} + \ldots + a_n e^{-jn\tau_r\omega}}, \quad (19)$$

где τ_r — интервал дискретности. Удобная форма Ч. м. анализа и синтеза импульсных систем — метод логарифмических частотных хар-к, основанный на z- и w-преобразовании [5].

В нек-рых САР, напр., использующих в качестве исполнит. элемента двухфазный двигатель, применяются контуры, работающие на несущей частоте ω_c. Такого рода контур обычно состоит из модулятора, корректирующего устройства с передаточной ф-цией $W_d(s)$ и демодулятора. Можно показать, что контур, работающий на несущей частоте, может быть заменен эквивалентным ему контуром на пост. токе, имеющим передаточную ф-цию:

$$W(s) = \frac{1}{2}[W_d(s+j\omega_c) + W_d(s-j\omega_c)]\cos\theta_c + j\frac{1}{2}[W_d(s-j\omega_c) - W_d(s+j\omega_c)]\sin\theta_c. \quad (20)$$

Если сдвиг фазы θ_c опорного напряжения демодулятора равен нулю, то

$$W(s) = \frac{1}{2}[W_d(s+j\omega_c) + W_d(s-j\omega_c)]. \quad (21)$$

Эти ур-ния позволяют преобразовать контур, работающий на несущей частоте, в эквивалентный ему фильтр НЧ, включенный в общую схему САР, и затем применять обычные Ч. м. анализа и синтеза.

Известно 2 способа обобщения Ч. м. для анализа систем с переменными параметрами [4]. Один из них основан на теореме свертки, т. е. осуществляется нахождение системы с пост. параметрами эквивалентной с нек-рой степенью точности, с точки зрения реакции на заданное воздействие, системе с перем. параметрами. Этот способ позволяет получить передаточную ф-цию и частотные хар-ки такого рода эквивалентной системы в виде ряда, к-рый иногда удается привести к замкнутой форме. Другой способ основан на введении передаточной ф-ции $\Phi(s, t)$ и частотных хар-к, зависящих не только от частоты, но и от времени, однако не зависящих от воздействия. Основная трудность состоит в определении передаточной ф-ции $\Phi(s, t)$. В случае систем с медленно изменяющимися параметрами выражение для $\Phi(s, t)$ можно найти непосредственно из дифференц. ур-ния системы:

$$a_n(t)\frac{d^n x}{dt^n} + \ldots + a_1(t)\frac{dx}{dt} + a_0(t)\,x = b_m(t)\frac{d^m f}{dt^m} + \ldots + b_1(t)\frac{df}{dt} + b_0(t)\,f \quad (22)$$

в виде, аналогичном ф-ле (2) (метод «замораживания» коэфф.):

$$\Phi(s, t) = \frac{b_m(t)\,s^m + \ldots + b_1(t)\,s + b_0(t)}{a_n(t)\,s^n + \ldots + a_1(t)\,s + a_0(t)}. \quad (23)$$

Анализ перем. систем по частотным хар-кам во многом сходен с анализом «постоянных» систем по обычным частотным хар-кам. В частности, для построения переходного процесса

на выходе перем. систем можно пользоваться методом трапецендальных хар-к. Отличие заключается лишь в том, что для определения n точек переходного процесса требуется построить не одну, а n частотных хар-к, рассматривая время t как параметр.

Ч. м. анализа нелинейных систем основан на принципе гармонич. баланса Н. М. Крылова и Н. Н. Боголюбова и на введенном Л. С. Гольдфарбом понятии комплексного коэфф. усиления нелинейного элемента. Он позволяет: определить условия устойчивости нелинейных систем, найти возможные колебания в них, определить частоту и амплитуду этих колебаний, подобрать корректирующие контуры. Метод относится к числу приближенных и предполагает гармонич. характер колебаний в системе; точность его тем выше, чем сильнее фильтрующее действие линейной части системы, рассматриваемой как НЧ фильтр. Метод может быть обобщен на системы с неск. нелинейными элементами, имеющими как симметричные, так и несимметричные хар-ки. В [7] разработан точный Ч. м. анализа автоколебаний релейных систем, учитывающий не только первую, но и последующие гармоники в разложении в ряд Фурье выхода релейного элемента..

Лит.: 1) Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; 2) Кузовков Н. Т., Теория автоматического регулирования, основанная на частотных методах, 2 изд., М., 1960; 3) Солодовников В. В., Топчеев Ю. И., Крутикова Г. В., Частотный метод построения переходных процессов, М., 1955; 4) Солодовников В. В., Статистическая динамика линейных систем автоматического управления, М., 1960; 5) Ту Ю., Цифровые и импульсные системы автоматического управления, пер. с англ., М., 1964; 6) Честнат Г., Майер Р., Проектирование и расчет следящих систем и систем регулирования, пер. с англ., М.—Л., 1959; 7) Цыпкин Я.З., Теория релейных систем автоматического регулирования, М., 1955; 8) его же, Теория линейных импульсных систем, М., 1963; 9) Михайлов А. В., Метод гармонического анализа в теории регулирования, «АиТ», 1938, т. 3, № 3. *В. В. Солодовников.*

ЧАСТОТНЫЙ СПЕКТР (freguency spectrum; spectre de fréquences; Frequenzspektrum) — распределение амплитуд или мощностей гармонич. составляющих величины $x(t)$ по частотам. Частотный спектр амплитуд $x(t)$ представляет собой разложение в ряд или интеграл Фурье ф-ции $x(t)$. Периодические функции представляются в виде ряда Фурье

$$x(t)=C_0+\sum_{k=1}^{\infty} C_k\cos(k\omega t+\varphi_k). \qquad (1)$$

Совокупность величин C_k носит назв. спектра амплитуд, а φ_k — спектра фаз. Непериодич. ф-ции разлагаются в интеграл Фурье

$$x(t)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty} G(\omega)\,e^{j\omega t}\,d\omega, \qquad (2)$$

где

$$G_T(\omega)=\int_{-\infty}^{\infty} x(t)\,e^{-j\omega t}\,dt$$

спектральная плотность процесса $x(t)$. Очевидно, что C_k — это амплитуды соответствующих гармоник, а величину $G(\omega)d\omega$ можно представить как среднюю амплитуду гармоники частоты ω. Эти величины можно выделить, напр., в виде напряжений, при помощи узкополосных фильтров. Спектр, соответствующий разложению (1), наз. дискретным или линейчатым, а разложению (2) — непрерывным. Нек-рые непериодич. ф-ции также обладают дискретным спектром. Такие ф-ции наз. почти периодическими. Примером может служить процесс, состоящий из суммы двух гармонич. колебаний с несоизмеримыми частотами (напр., с частотами ω и $\omega\sqrt{2}$). Примером процесса с непрерывным спектром может служить одиночный прямоугольный импульс длительностью 2τ. Его спектр равен

$$G(\omega)=\frac{\sin\omega\tau}{\omega\tau}.$$

По спектру процесса можно сделать некоторые выводы относительно самого процесса. Плавно изменяющиеся процессы будут иметь более низкочастотный спектр по сравнению со спектрами резко изменяющихся разрывных сигналов. Амплитудные спектры часто применяются при исследовании систем передачи информации на несущей частоте, в частности в радиотехнике. Если $x(t)$ — случайная ф-ция, то $G(\omega)$ будет случайной ф-цией. Для описания стационарных *случайных воздействий* вводится частотная спектральная плотность мощности (энергетич. спектральная плотность), связанная со спектральной плотностью амплитуд соотношением

$$S(\omega)=\lim_{T\to\infty}\frac{\mathsf{M}[G_T(\omega)|^2]}{2T},$$

где M — знак математич. ожидания. Спектральная плотность мощности $S(\omega)$ случайной ф-ции $x(t)$ и ее корреляц. ф-ция $R(\tau)$ связаны преобразованием Фурье

$$S(\omega)=\frac{2}{\pi}\int_0^{\infty} R(\tau)\cos\omega\tau\,d\tau,$$

$$R(\tau)=\int_0^{\infty} S(\omega)\cos\omega\tau\,d\omega.$$

Вследствие перехода от амплитуд к мощностям $S(\omega)$ не содержит никаких сведений о сдвигах фаз отдельных составляющих ф-ций $x(t)$. Величину $S(\omega)\,d\omega$ можно интерпретировать как среднюю мощность гармоники частоты ω. Дисперсия $x(t)$ выражается через спектральную плотность след. ф-лой:

$$D=\int_0^{\infty} S(\omega)\,d\omega.$$

Для стационарной случайной ф-ции $x(t)$ с корреляц. ф-цией $R(\tau)=a^2e^{-\alpha|\tau|}$ спектральная плотность будет равна:

$$S(\omega)=\frac{2}{\pi}\cdot\frac{a^2\cdot\alpha}{\alpha^2+\omega^2}.$$

Эта спектральная плотность соответствует процессу, в к-ром случайная величина с равной вероятностью принимает значения $\pm a$, а изменение знака происходит в случайные моменты времени, распределенные по закону Пуассона. Последние две ф-лы показывают, что спектр расширяется с увеличением α, в то время как интервал корреляции, т. е. интервал изменения τ, на к-ром корреляц. ф-ция превышает данную малую величину, уменьшается, что является общей закономерностью. Чем быстрее убывает корреляц. ф-ция стационарной случайной ф-ции с ростом τ, тем шире спектр этой случайной ф-ции.

При $\alpha\to\infty$ получим процесс, имеющий равномерное распределение мощности по частотам, наз. *шумом белым*. Спектральная плотность на выходе линейного фильтра с *передаточной функцией* $W(j\omega)$ связана со спектральной плотностью на входе этого фильтра зависимостью

$$S_{\text{вых}}(\omega)=|W(j\omega)|^2\,S_{\text{вх}}(\omega).$$

Для нестационарных процессов вводится понятие текущего и мгновенного спектра.

Для спектрального анализа процессов пользуются *анализатором спектра*. При вычислении спектральной плотности на универсальных вычислит. машинах обычно предварительно вычисляется корреляц. ф-ция.

Лит.: Харкевич А. А., Спектры и анализ, 4 изд., М., 1962; Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 3 изд., М., 1962. *В. М. Чадеев.*

ЧАСТОТОМЕР (frequency meter; fréquencemètre; Frequenzmesser) — прибор для измерения частоты колебаний тока, напряжения или электромагнитного поля. В цепях тока промышленной частоты применяются стрелочные Ч., построенные по принципу логометра (измерителя отношений), и вибрац. Ч. Стрелочные Ч. с логометрич. механизмами изготовляются различных систем — электродинамической, ферродинамической, электромагнитной [1]. Вибрац. Ч. весьма прост по устройству, но по точности существенно уступает Ч. с логометрич. механизмами. Он состоит из ряда металлич. пластинок с различными собств. резонансными частотами (обычно отличающимися на 0,5 *гц*), находящихся в поле электромагнита, обмотка возбуждения к-рого включается в цепь напряжения измеряемой частоты. Под влиянием колебаний магнитного поля наиболее сильно раскачивается та пластинка, частота собств. колебаний к-рой равна измеряемой частоте. Свободный торцовый конец колеблющейся пластинки превращается для наблюдателя в размытую полоску в соответствующем месте шкалы, проградуированной в единицах частоты. Значительно слабее будут колебаться две соседние пластинки, колебания же всех остальных будут практически незаметны.

Ч., измеряющие частоты в диапазоне радиоволн, наз. *волномерами*; в зависимости от устройства различают резонансные, мостовые, конденсаторные, электронно-счетные, гетеродинные и осциллографические Ч. Резонансные Ч. состоят из перестраиваемого и отградуированного по частоте колебат. контура и индикаторного устройства для определения момента резонанса. В зависимости от диапазона измеряемых частот используют различные типы контуров. На частотах до 100—150 *Мгц* применяют контуры с сосредоточ. постоянными L и C, на частотах 100—1000 *Мгц* — контуры смешанного типа с сосредоточ. емкостью и распредел. индуктивностью, в диапазоне дециметровых волн — контуры из отрезков коаксиальных и полосковых линий, в сантиметровом диапазоне — цилиндрич. объемные резонаторы. Погрешность измерений при помощи резонансных Ч. составляет от 0,01 до 2—3%.

Мостовые Ч. применяются только в диапазоне звуковых частот, т. к. на более высоких частотах сильное влияние на настройку моста оказывают паразитные емкости и индуктивности. При использовании в схеме моста частотнозависимых элементов условие равновесия моста — нулевого напряжения в одной диагонали — зависит от частоты напряжения, приложенного к др. диагонали. Балансировка моста осуществляется изменением величины к.-л. его элемента, снабженного шкалой, проградуированной в единицах частоты. Применяют резонансные, емкостные и двойные Т-образные мостовые схемы [2]. Погрешность измерений мостовых Ч. лежит в пределах 0,5—2%.

Принцип действия конденсаторных Ч. основан на измерении тока заряда или разряда эталонного конденсатора. Осн. элемент такого Ч.— электронный коммутатор, позволяющий заряжать и разряжать эталонный конденсатор в такт с измеряемой частотой. Ток I заряда (разряда) конденсатора пропорционален измеряемой частоте f: $I=C(U_2-U_1)f$, где C — величина емкости конденсатора, U_2 — напряжение, до к-рого заряжается конденсатор, U_1 — напряжение, до к-рого он разряжается. Точность измерений с помощью конденсаторных Ч. составляет единицы процентов, верхняя граничная частота — ок. 0,5—2 *Мгц* (напр., прибор Ч3-1 имеет погрешность 1,5—2%).

В электронно-счетных (цифровых) Ч. колебания неизвестной частоты подаются на вход формирующего устройства, в к-ром они преобразуются в импульсы с частотой следования точно равной частоте входного сигнала. В течение определ. интервала времени, задаваемого сигналом датчика времени, эти импульсы регистрируются счетчиком. Время счета обычно выбирается равным 10^n *сек*, где n — целое положит. или отрицат. число; при этом показания счетчика соответствуют величине измеряемой частоты в непосредств. числовом выражении: в зависимости от значения n меняется лишь положение запятой, отделяющей целую часть от дробной. Чем больше время счета, тем больше значащих цифр в результате измерения, т. е. больше точность измерения. В СССР выпускают целый ряд цифровых Ч., напр. прибор Ч3-2 позволяет измерять частоты от 10 *гц* до 10 *Мгц* непосредственно и от 10 до 100 *Мгц* с помощью блока преобразования частоты. Относит. погрешность измерений — порядка $\pm 2\cdot10^{-6}$. В гетеродинных Ч. используется принцип сравнения измеряемой частоты или ее гармоник с известной частотой перестраиваемого калиброванного генератора или ее гармониками. На частотах до единиц и десятков *Мгц* в качестве Ч. может быть использован электронный осциллограф. Частота синусоидальных колебаний измеряется методом наблюдения фигур Лиссажу или методом калибрац. яркостных меток [2]. С помощью осциллографа весьма просто измеряется также частота следования импульсов (сравнением с известной регулируемой частотой напряжения горизонт. развертки).

Лит.: 1) Касаткин А. С., Перекалин М. А., Электротехника, 9 изд., М.—Л., 1963; 2) Валитов Р. А., Радиотехнические измерения, М., 1963. *Л. Л. Москвитин.*

ЧЕЛНОЧНЫЕ АЛГОРИТМЫ (shuttle algorithms; algorithmes à navette; Schiffchenalgorithmus) — класс *алгоритмов*, оперирующих над словами в нек-ром алфавите A. Для работы Ч. а. вводятся новые символы — т. н. челноки. Применяются и др. дополнит. символы: *, подчеркнутые буквы из алфавита A и

др. Программа Ч. а. состоит из конечного числа команд. По нач. команде к началу (к концу) слова приписывается челнок. В процессе работы Ч. а. над словом производятся различные операции, при к-рых в слове все время сохраняется один челнок. Когда челнок исчезает, происходит остановка. Работа Ч. а. происходит так. Сначала выполняется нач. команда. Затем на каждом шагу выполняется та команда, у к-рой в левой части стоит тот же челнок и та же буква, к-рые в рассматриваемом слове стоят рядом. Выполнение неначальной команды состоит в замене в рассматриваемом слове левой части команды на правую.

Рассмотрим пример Ч. а., переворачивающего слово в алфавите A: devil → lived. Этот Ч. а. работает так. В конце слова челнок ставит звездочку; затем подходит к каждой букве первонач. слова, превращается в челнок, помеченный при помощи этой буквы, т. е. как бы сажает ее на себя, перевозит вправо за звездочку и ссаживает ее в самом конце, после чего возвращается за следующей. Когда слева от звездочки букв не остается, челнок уничтожает себя и звездочку.

Каждый Ч. а. может быть приведен к виду *нормального алгоритма Маркова*. Таким образом, Ч. а. — это класс нормальных алгоритмов, в к-рых на каждом шагу фиксируется рабочее место в слове. Для каждого нормального алгоритма существует эквивалентный ему Ч. а. Работа Ч. а. аналогична работе *Тьюринга машины*. Челноки соответствуют состояниям машины, а положение челнока в слове служит «адресом», указывающим положение «ленты».

Лит.: Черняевский В. С., Об одном классе нормальных алгорифмов Маркова, в сб.: Логические исследования, М., 1959.

А. А. Раскина.

«ЧЕРНЫЙ ЯЩИК» [«black box»; «boite noire»; «schwarzer Kasten» (black box)]—объект исследования, внутр. устройство к-рого не принимается во внимание или неизвестно. Понятие «Ч. я.», предложенное англ. ученым У. Р. Эшби [1], относится к числу осн. понятий кибернетики, помогая при изучении поведения систем (т. е. реакций на различные внешние воздействия) абстрагироваться от их внутр. устройства. Следует различать «Ч. я.», рассматриваемый как *автомат* (конечный или бесконечный) с известным поведением, и «Ч.я.», поведение к-рого может быть только наблюдаемо в эксперименте. В последнем случае явно или неявно делается гипотеза о предсказуемости поведения «Ч.я.», хотя бы в вероятностном смысле. Иначе невозможно никакое индуктивное заключение на основе экспериментов с «Ч. я.».

Пример «Ч. я.» 1-го вида — типовые звенья в теории автоматич. регулирования. Как известно, при анализе САР, напр. при исследованиях устойчивости, систему рассматривают в виде совокупности неск. стандартных типов звеньев (апериодическое, колебательное, интегрирующее и т. п.). Звено каждого типа характеризуется определ. поведением, т. е. зависимостью, связывающей входные и выходные воздействия (величины). В рассматриваемом примере существует четкое математич. описание поведения в виде нек-рого оператора или соответствующего ему дифференц. ур-ния. В то же время конкретная реализация звена («Ч. я.»), т. е. то обстоятельство, что оно состоит из радиотехнич., механич., гидравлич. элементов или из элементов к.-л. иной физ. природы, нас не интересует.

Важнейшая задача, связанная с понятием «Ч. я.» 2-го вида,—изучение поведения «Ч. я.» и его описание. Пусть дана нек-рая система, внутр. строение к-рой неизвестно, имеющая входы $x_1, x_2, \ldots, x_n$ и выходы $y_1, y_2, \ldots, y_m$. Требуется описать поведение такой системы, такого «Ч. я.». Универс. способ для этого — наблюдение за состоянием выходов системы в различные моменты времени в зависимости от состояния входов. Результат такого эксперимента в наиболее общем виде можно представить таблицей.

Время	Состояние входов	Состояние выходов
t_1	$x_1(t_1), x_2(t_1), \ldots, x_n(t_1)$	$y_1(t_1), y_2(t_1), \ldots, y_m(t_1)$
t_2	$x_1(t_2), x_2(t_2), \ldots, x_n(t_2)$	$y_1(t_2), y_2(t_2), \ldots, y_m(t_2)$
.	. . . .	. . .
.	. . . .	. . .
.	. . . .	. . .
t_k	$x_1(t_k), x_2(t_k), \ldots, x_n(t_k)$	$y_1(t_k), y_2(t_k), \ldots, y_m(t_k)$
.	. . . .	. . .
.	. . . .	. . .
.	. . . .	. . .

При этом значения входных величин в моменты времени $t_1, t_2, \ldots, t_k$ могут выбираться произвольным образом. Иногда в качестве входных воздействий используют нек-рые стандартные последовательности. Подавая такие последовательности на входы неск. «Ч. я.», удается сравнить их поведение и, не изучая их внутр. строения, выбрать «Ч. я.» с поведением, наилучшим образом приближающимся к заданному. Пример изучения поведения «Ч. я.» с помощью стандартных входных последовательностей — экспериментальное снятие частотных хар-к.

Протокольное описание «Ч. я.», представленное табл., может дать гораздо больше при наличии математич. модели, позволяющей описать поведение «Ч. я.» путем определения нек-рых параметров. «Ч. я.», для к-рого построена математич. модель, т. е. известна нек-рая информация о внутр. структуре, по существу является уже не «Ч. я.», а «серым ящиком».

В очень широком классе случаев реакция $\overline{R}(t)$ «Ч. я.» на нек-рый входной стимул $\overline{S}$ можно представить в виде [5]:

$$\overline{R}(t) = \int_{-\infty}^{c} \overline{M}(t, \zeta)\, \overline{F}[\overline{S}(\zeta - \tau)]\, d\zeta,$$

где $\overline{S}(t-\tau)$ — значение входного сигнала в момент времени $t-\tau$, τ—задержка реакции (в самом общем виде $\tau=\tau(t)$), $\overline{M}$ и $\overline{F}$ — нек-рые ф-ции, определяемые св-вами «Ч. я.». Задача, т. о., сводится к определению ф-ций $\overline{M}$ и $\overline{F}$. В ряде частных случаев удается найти ф-ции $\overline{M}$ и $\overline{F}$ и записать соотношение (1) в виде дифференц. ур-ния.

Иногда случается установить алгоритм, в соответствии с к-рым «Ч. я.» реагирует на произвольный входной сигнал. Такой алгоритм, или запись вида (1) с известными $\overline{M}$, $\overline{F}$ и τ, могут рассматриваться как математическая модель «Ч. я.». В [6] описываются модели обучаемых «Ч. я.», поведение к-рых носит стохастич. характер.

Одна из крупных кибернетических проблем — разработка общих методов построения математических моделей «Ч. я.». С их помощью оказывается возможным классифицировать «Ч.я.», относя к одному классу все системы, изоморфные по поведению, т. е. описываемые одной и той же математической моделью.

Построение математич. модели «Ч. я.», или его алгоритмизация,— первый этап при решении более сложных проблем моделирования «Ч. я.». Часто оказывается необходимым заменить одну систему другой, функционирующей подобным образом. Так, в процессе автоматизации вредных произ-в возникает необходимость заменить человека-оператора автоматич. устройством, способным выполнять то же ф-ции. Часто также приходится решать вопрос о замене элементов какой-то системы другими, обеспечивающими при сохранении ф-ций повышение надежности, сокращение габаритов и т. п. (напр., замена ламповых электронных схем ПП). Решение этой задачи сводится к построению систем, функционирующих таким же образом, как заменяемый «Ч. я.», т. е. к замене «Ч. я.» некоторой другой системой, обладающей такой же математической моделью. Такую систему называют обычно моделью «Ч. я.».

Др. аспект проблемы моделирования «Ч. я.» возникает при анализе последнего. При решении многих практич. задач часто бывают неизвестны детали строения исследуемой системы. Врачу, напр., могут быть известны только внешние проявления болезни, но неизвестно истинное состояние организма больного. Многие системы оказываются настолько сложными, что, даже имея полную информацию о состоянии их элементов, оказывается практически невозможным связать эту информацию с поведением системы в целом. В рассмотренных случаях представление такой сложной системы в виде нек-рого «Ч. я.», функционирующего аналогичным образом, часто бывает полезным, облегчая построение упрощенной модели. Анализируя поведение такой модели и сравнивая его с поведением системы, можно сделать ряд выводов о самой системе. Так, если модель ведет себя не так, как система, можно утверждать, что принципы, заложенные в модель, не совпадают с принципами построения системы, и соответствующая гипотеза о строении системы должна быть отвергнута. В случае функционального сходства модели и системы нет оснований утверждать о совпадении принципов построения (структуры) модели и системы. Однако в этом случае факт совпадения ф-ций модели и системы может служить основанием для выбора рабочей гипотезы о предполагаемом строении исследуемой системы.

При изучении процессов обучения обычно возникают следующие ситуации: 1) обучаемый объект воздействует нек-рыми сигналами на «Ч. я.» (внешнюю среду) и, наблюдая ответные сигналы, обучается нек-рой тактике поведения. Т. о., св-во «быть обучаемым» выражается в возможности объекта предсказывать поведение какого-то «Ч. я.». Чем сложнее поведение «Ч. я.», тем труднее объекту «обучиться»; 2) «учитель», знающий, как следует воздействовать на среду, обучает «Ч. я.», т. е. подбирая систему входных сигналов (стимулов), пытается заставить «Ч. я.» функционировать (воздействовать на среду) желаемым способом. При этом задача обучения сводится к построению приближ. модели «Ч. я.» и настройке ее нужным образом.

Лит.: 1) Эшби У. Р., Введение в кибернетику, пер. с англ., М., 1959; 2) Моделирование в биологии. [Сб. ст.], пер. с англ., под ред. и с предисл. Н. А. Бернштейна, М., 1963; 3) Клаус Г., Кибернетика и философия, пер. с нем., М., 1963; 4) Бир С т., Кибернетика и управление производством, пер. с англ., М., 1963; 5) Bunge M., A general black box theory, «Philos. Sci.», 1963, v. 30, № 4, p. 346—58; 6) Буш Р., Мостеллер Ф., Стохастические модели обучаемости, пер. с англ., М., 1962.

М. Г. Гаазе-Рапопорт.

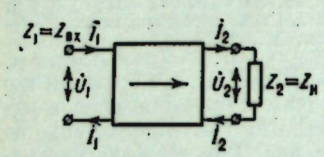
ЧЁРЧА ИСЧИСЛЕНИЕ, исчисление λ-конверсии (calculus of lambda-conversion, Church's symbolic calculus; calcul de Church; Berechnung nach Church),—логико-математич. аппарат, применяемый для построения (или описания, представления в нек-рой стандартной форме) теории *рекурсивных функций* и др. теорий и исчислений математич. логики; разработан амер. математиком и логиком А. Чёрчем (1941). Выражения Ч. и. строятся, исходя из переменных x, y, z, ..., f, g, h, ... с помощью двух операций — сочленения и абстракции. Точная формулировка соответствующих «правил конверсии (свертывания)» является видоизменением и обобщением правил подстановки (см. *Логика математическая*) и переименования связанных переменных (см. *Предикат*). Ч. и., весьма удобное для строго формализованного построения различных логико-математич. исчислений, было применено для формализации выдвинутого ранее (1933) Чёрчем понятия т. н. λ-определимости, в терминах к-рого им же (1936) был построен первый из известных примеров *алгоритмической неразрешимости*. Позднее было доказано, что λ-определимость эквивалентна др. определениям понятия вычислимой ф-ции, что послужило дополнит. доводом в пользу т. н. осн. гипотезы теории алгоритмов (см., напр., *Тьюринга машина*) и определило его важность для приложений теории алгоритмов.

Лит.: Church A., Calculi of lambda-conversion, Princeton, 1941; Гудстейн Р. Л., Математическая логика, пер. с англ., М., 1961, гл. 3, с. 66—91.

Ю. А. Гастев.

ЧЕТЫРЕХПОЛЮСНИК (four-pole; quadripôle; Vierpol) — обобщенное название любой электрич. цепи (схемы), имеющей два ввода и два вывода (четыре полюса) — парные вход и выход. К Ч. могут быть отнесены усилители, трансформаторы, *длинные линии*, *корректирующие цепи* автоматики и т. д. Хорошо развитая теория Ч. позволяет рассматривать все эти устройства в общем виде и, не вдаваясь в подробности их внутр. строения, рассчитывать их параметры. Чаще всего Ч. является промежуточным звеном между источником и потребителем энергии или между двумя отдельными электрич. системами, не связанными друг с другом непосредственно. Такой Ч. наз. проходным. В общем случае вход и выход Ч. связаны между собой только через элементы внутр. схемы и к.-л. др. связи не имеют места. В частном случае два полюса (один входной и один выходной) могут быть короткозамкнутыми; такой Ч. по существу следует считать трехполюсником, у к-рого один из полюсов играет роль двух зажимов. Этот тип Ч. встречается довольно часто (электронные схемы с общей «землей», звенья фильтров, корректирующие цепи и т. д.).

Если внутр. схема Ч. содержит в себе источник энергии, то такой Ч. наз. активным. Однако в теории линейных цепей осн. внимание уделяется т. н. линейным пассивным Ч., к-рые могут быть полностью описаны системой линейных ур-ний, связывающих четыре осн. переменные величины — токи и напряжения на входе и выходе Ч.: $\dot U_1 = a_{11}\dot U_2 + a_{12}\dot I_2$, $\dot I_1 = a_{21}\dot U_2 + a_{22}\dot I_2$, где индексы 1, 2 относятся соответственно к входу и выходу (см. рис.). Все величины, входящие в ур-ния, в общем виде являются комплексными, в т. ч. и коэфф. a_{ik}, к-рые наз. осн. параметрами Ч. и полностью определяют его св-ва. Из ур-ний видно, что a_{11} и a_{22} — безразмерные величины, a_{12} имеет размерность сопротивления, а a_{21} — проводимости. Осн. параметры a_{ik} могут быть найдены опытным путем при работе Ч. в режимах хх, когда $Z_2=\infty$, и кз при $Z_2=0$. Тогда



Токи и напряжения на входе и выходе четырехполюсника.

$$a_{11} = \left(\frac{\dot U_1}{\dot U_2}\right)_{\dot I_2 = 0}; \quad a_{12} = \left(\frac{\dot U_1}{\dot I_2}\right)_{\dot U_2 = 0};$$
$$a_{21} = \left(\frac{\dot I_1}{\dot U_2}\right)_{\dot I_2 = 0}; \quad a_{22} = \left(\frac{\dot I_1}{\dot I_2}\right)_{\dot U_2 = 0}.$$

Для линейного пассивного Ч. определитель, составленный из коэфф. a_{ik}, равен единице — $\det a = a_{11}a_{22} - a_{12}a_{21} = 1$ (условие пассивности). Такие Ч. определяются только тремя независимыми параметрами a_{ik}. Если при взаимной замене местами входа и выхода Ч. токи на входе и выходе не изменятся по величине, то Ч. наз. симметричным и для него $a_{11} = a_{22}$, что уменьшает число независимых параметров Ч. до двух. Все прочие Ч. могут быть охарактеризованы показателем симметрии $n = \sqrt{a_{22}/a_{11}}$. Кроме осн. параметров a_{ik} вводят т. н. характеристич. параметры, связанные с осн. параметрами простыми соотношениями. Этими параметрами являются: коэфф. усиления по напряжению $K_U = \left(\frac{\dot U_2}{\dot U_1}\right)_{Z_2=\infty} = \frac{1}{a_{11}}$; коэфф. усиления по току $K_I = \left(\frac{\dot I_2}{\dot I_1}\right)_{Z_2=0} = \frac{1}{a_{22}}$; входное сопротивление хх $Z_0 = \left(\frac{\dot U_1}{\dot I_1}\right)_{Z_2=\infty} = \frac{a_{11}}{a_{21}}$; входное сопротивление кз $Z_k = \left(\frac{\dot U_1}{\dot I_1}\right)_{Z_2=0} = \frac{a_{12}}{a_{22}}$.

Характеристич. сопротивление каждой стороны Ч., равное среднему геометрич. из сопротивлений хх и кз: $Z_{c_1} = \sqrt{Z_0 Z_k} = \sqrt{a_{11}a_{12}/a_{21}a_{22}}$ — со стороны входа, $Z_{c_2} = \sqrt{Z_0' Z_k'} = \sqrt{a_{12}a_{22}/a_{11}a_{21}}$ — со стороны выхода. Характеристич. сопротивление Ч., $Z_c = \sqrt{Z_{c_1} Z_{c_2}} = \sqrt{a_{12}/a_{21}}$. Сопротивления Z_{c_1} и Z_{c_2} связаны с Z_c через показатель симметрии: $Z_{c_1} = Z_c/n$; $Z_{c_2} = nZ_c$. Для симметричного Ч. $Z_{c_1} = Z_{c_2} = Z_c$. Если Ч. нагружен на сопротивление, равное характеристич. сопротивлению Ч., то отношение токов на входе и выходе равно отношению напряжений:

$$\left(\frac{\dot I_1}{\dot I_2}\right)_{Z_2=Z_c} = \left(\frac{\dot U_1}{\dot U_2}\right)_{Z_2=Z_c} = e^g,$$

где $g = \ln \left.\frac{\dot U_1}{\dot U_2}\right|_{Z_2=Z_c}$ наз. постоянной передачи. Эта постоянная связана с осн. параметрами Ч. соотношениями: $\operatorname{ch} g = a_{11}$; $\operatorname{sh} g = \sqrt{a_{12}a_{21}}$; $\operatorname{th} g = Z_c \frac{a_{21}}{a_{11}}$. В общем случае постоянная передачи — комплексная величина: $g = \beta + j\alpha$. Ее действительная часть β наз. постоянной затухания, а мнимая α — фазовой постоянной. Затухание Ч. измеряется в *логарифмических единицах усиления и ослабления*.

Входное сопротивление Ч., нагруженного на произвольную нагрузку,

$$Z_{вх} = \frac{\dot U_1}{\dot I_1} = \frac{a_{11}Z_н + a_{12}}{a_{21}Z_н + a_{22}}.$$

Если $Z_2 = Z_н = Z_c$, то и входное сопротивление $Z_1 = Z_{вх} = Z_c$. Это св-во, наз. св-вом повторяемости, используется для согласования полных сопротивлений (см. *Согласующее устройство*).

Теория Ч. применяется для расчета различных усилит. схем, фильтров, цепей коррекции, линий передач. При этом часто пользуются методами матричного исчисления. Систему осн. ур-ний Ч. удобно представить в матричной форме:

$$\begin{bmatrix}\dot U_1 \\ \dot I_1\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}a_{11} & a_{12} \\ a_{21} & a_{22}\end{bmatrix} \begin{bmatrix}\dot U_2 \\ \dot I_2\end{bmatrix} = [a] \begin{bmatrix}\dot U_2 \\ \dot I_2\end{bmatrix}.$$

Все характеристич. параметры Ч. могут быть найдены, если известна его матрица $[a]$. Если внутр. структура Ч. сложна, то такой Ч. можно разбить на ряд более простых звеньев Ч. и, зная матрицы $[a]^{(i)}$ этих простых звеньев, найти матрицу $[a]$ всего Ч. при помощи приемов матричной алгебры. Напр., для каскадного соединения неск. Ч. результирующая матрица равна произведению матриц всех парциальных Ч. Этот метод используется для расчета сложных многозвенных фильтров, многокаскадных усилителей, цепей коррекции и т. д. Для типовых звеньев или ячеек, из к-рые можно разбить сложную электрическую цепь, матрицы $[a]$ хорошо известны. Кроме осн. матрицы $[a]$, вводят и др. матрицы, напр. матрицу проводимости. При решении задач техники СВЧ вместо токов и напряжений удобнее пользоваться понятиями падающих и отраженных волн, отношения к-рых называют коэфф. отражения. Рассмотрение ур-ний, связывающих падающие и отраженные волны в подводящих линиях Ч. СВЧ, приводит к т. н. волновым матрицам, элементы к-рых могут быть выражены через величины, определяемые экспериментально. Известны волновые матрицы двух видов: матрица рассеяния $[S]$ и матрица передачи $[T]$, к-рые связывают падающие и отраженные волны на входе и выходе Ч. Св-ва этих матриц во многом схожи со св-вами матрицы $[a]$ классич. Ч., так же как и методика расчета характеристич. параметров, выражаемых через элементы этих матриц.

Лит.: Зелях Э. В., Основы общей теории линейных электрических схем, М., 1951; Сигорский В. П., Общая теория четырехполюсника, Киев, 1955; Явич Л. Р., Волновые матрицы четырехполюсника, «РиЭ», 1957, т. 2, № 7. *А. П. Шпилевой*.

ЧЕТЫРЕХСЛОЙНЫЕ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ ПРИБОРЫ (fourlayers semiconductors; semi-conducteurs à quatre couches; vierschichtige Halbleiter) — ПП приборы с $n-p-n-p$- или $p-n-p-n$-структурой. Первые приборы такого типа были описаны в 1956. В дальнейшем были разработаны и известны под назв.: *переключатели четырехслойные*; *тиристоры*; управляемые диоды (с включением по цепи управляющего электрода); бинисторы; кремниевые $p-n-p-n$-транзисторы (трехэлектродные переключатели с $\alpha > 1$, используемые как тиратроны, генераторы, фотореле); кремниевые управляемые выпрямители (с тремя выводами, аналог тиратрона) с $p-n-p-n$-структурой; двухэлектродные ПП переключающие приборы (динистор, четырехслойный диод); ПП тиратроны (германиевые или кремниевые).

Основой Ч. п. п. служит пластинка ПП (обычно кремния) с чередующимися слоями p- и n-типа. В четырехслойных диодах выводы делаются от внешних p- и n-областей — анод и катод, в управляемых приборах (транзисторах) имеется дополнит. вывод управляющего электрода (рис. 1). Вольтамперная хар-ка четырехслойного диода (рис. 2)

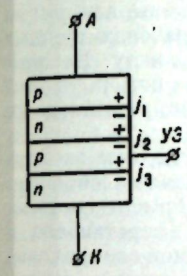


Рис. 1.

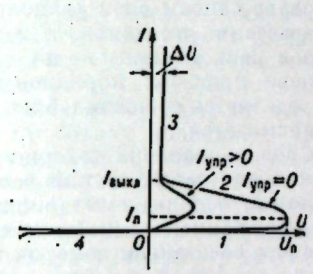


Рис. 2.

Рис. 1. Структура четырехслойных приборов: *А* — анод; *К* — катод; *УЭ* — управляющий электрод.

Рис. 2. Вольтамперная хар-ка четырехслойного прибора.

имеет участок с отрицат. дифференц. сопротивлением, разделяющий области высокого и малого сопротивлений (отношение сопротивлений: 10^6—10^8). Если на анод подано положит. напряжение относительно катода, то крайние $p-n$-переходы j_1 и j_3 оказываются смещенными в прямом направлении, а центральный переход j_2 — в обратном. $p-n$-переход j_2 служит общим коллекторным переходом Ч. п. п., состоящего как бы из двух транзисторов $p-n-p$- и $n-p-n$-типов, у к-рых переходы j_1 и j_3 эмиттерные, причем база транзистора $n-p-n$-типа соединена с коллектором транзистора $p-n-p$-типа и, наоборот, в структуре имеет место положит. обратная связь. Ур-ние, описывающее в неявном виде вольтамперную хар-ку Ч. п. п. (на участках *1* и *2*, рис. 2), имеет вид:

$$I = \frac{I_{ко}}{1 - \alpha_{p-n-p} - \alpha_{n-p-n}},$$

где $I_{ко}$ — обратный ток центрального $p-n$-перехода, возрастающий при увеличении напряжения, α_{p-n-p} и α_{n-p-n} — коэфф. усиления составляющих транзисторов, измеренные на пост. токе. Коэфф. усиления кремниевых транзисторов очень малы при малых токах эмиттера и возрастают с увеличением тока эмиттера и напряжения на коллекторе. При небольшом напряжении между анодом и катодом через прибор протекает малый ток $I \approx I_{ко}$, т. к. $\alpha_{p-n-p} + \alpha_{n-p-n} \ll 1$ (участок *1*, рис. 2). С увеличением напряжения увеличивается ток центрального $p-n$-перехода и связанный с ним общий ток, вследствие чего α_{p-n-p} и α_{n-p-n} также растут. Увеличение α означает, что центрального перехода достигает большее число эмиттированных неосновных носителей. Сохранение равенства токов через все $p-n$-переходы оказывается возможным лишь при уменьшении напряжения на центральном переходе (участок *2*). Наибольшее напряжение на приборе — напряжение переключения $U_п$ — тем больше, чем выше напряжение лавинного пробоя центрального перехода и чем меньше α_{p-n-p} и α_{n-p-n}. При токе выключения $I_{выкл}\alpha_{p-n-p} + \alpha_{n-p-n} = 1$, а напряжение на центральном переходе становится равным нулю. Структура переходит в открытое состояние (участок *3*). В этой области $\alpha_{p-n-p} + \alpha_{n-p-n} > 1$, составляющие транзисторы находятся в режиме насыщения, напряжение на центральном переходе изменяет знак и становится положительным. Положит. обратная связь между транзисторами обеспечивает непрерывное пополнение рекомбинирующего избыточного заряда неосновных носителей во внутр. областях структуры. При отрицат. напряжении между анодом и катодом (участок *4*) сопротивление прибора определяется сопротивлением последовательно включенных $p-n$-переходов j_1 и j_3, находящихся при обратном смещении.

Основные параметры четырехслойных диодов: напряжение переключения $U_п$, ток переключения $I_п$, ток выключения $I_{выкл}$, остаточное падение напряжения при номинальном токе ΔU, времена переключения, емкость C. $U_п = 10$—200 *в*, оно измеряется на пост. токе или на НЧ. При открывании четырехслойного диода импульсом возникает емкостной ток центрального перехода, что приводит к увеличению α_{p-n-p} и α_{n-p-n}. Напряжение переключения уменьшается, причем его величина зависит также от частоты следования импульсов. Четырехслойные диоды выпускаются на средний ток 50—200 *ма*; импульсные токи достигают 10*а*; $I_п = 0{,}1$—1 *ма*, $I_{выкл} = 3$ *ма*, $\Delta U = 1$—2 *в*. Времена переключения зависят от схемы и режима измерений. Время включения состоит из задержки, в течение к-рой ток через прибор мал, и времени нарастания тока. Задержка существенно уменьшается ($\leqslant 0{,}1$ *мксек*) при увеличении амплитуды пускового импульса. Типовое значение времени нарастания — 0,1 *мксек*. Время выключения определяется продолжительностью рекомбинации избыточного заряда дырок и электронов и составляет ок. 10 *мксек*. Емкость четырехслойного диода определяется емкостью последовательно включенных $p-n$-переходов и уменьшается с ростом напряжения. Этого типа приборы применяются в автоматике и радиотехнике как элементы генераторов импульсов, переключатели, ограничители и т. д.

В управляемых четырехслойных приборах при подаче тока в цепь управляющий электрод — катод, общий ток увеличивается вследствие эффекта транзисторного усиления. При этом коэфф. усиления α_{p-n-p} и α_{n-p-n} растут, и переключение происходит при меньших напряжениях. Наиболее распространены высоковольтные управляемые приборы средней и большой мощности — тиристоры. Перспективны маломощные управляемые диоды с выключением по цепи управляющего электрода, к-рые во многих ключевых схемах имеют преимущества перед транзисторами, т. к. 2 устойчивых состояния дости-

гаются на одном активном элементе, а управление осуществляется по входу. Коэфф. усиления при выключении (отношение тока анода к миним. выключающему току управляющего электрода) много меньше, чем при включении, и составляет 3—10. Это объясняется тем, что внутренняя положит. обратная связь препятствует запиранию прибора. Приборы, выключаемые по цепи управляющего электрода, в отличие от обычных тиристоров, имеют p —n-переход между катодом и управляющим электродом с высоким напряжением пробоя ($\geqslant$ неск. десятков $в$). Типовые значения параметров: $U_п$=30—100 $в$, номинальный ток открытого состояния 30—100 $ма$, время включения 0,1 $мксек$, время выключения 5 $мксек$. Примером такого же типа ПП приборов служит также бинистор— управляемый прибор с выводами от всех областей (рис. 3). Ток коллектора бинистора зависит от токов базы и инжектора, поскольку часть дырок,эмиттируемых инжектором, достигает базы транзистора n—p—n-типа. Бинистор может использоваться как маломощный модулятор — в этом случае на инжектор и базу подаются соответственно несущая частота и модулирующий сигнал. В определ. режиме вольтамперная хар-ка коллектор — эмиттер обладает участком отрицат. сопротивления, что позволяет строить различные импульсные схемы с использованием этого прибора.

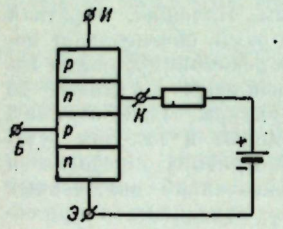


Рис. 3. Бинистор: *И* — инжектор; *К* — коллектор; *Б* — база; *Э* — эмиттер.

Рабочие темп-ры Ч. п. и. в зависимости от св-в ПП находятся в пределах от —60° С до 150° С. Практически наиболее важна температурная зависимость напряжения переключения, особенно у неуправляемых приборов; изменения напряжения переключения в диапазоне темп-р не превышают 10—15% номинального значения; в управляемых приборах допустим больший уход напряжения переключения с изменением темп-ры.

Лит.: Полупроводниковые приборы с отрицательным сопротивлением. Сб. переводных статей, под ред. С. А. Гарлинова, М.—Л., 1962; Ross P. W., Skalnik J. G., «IRE Trans., Electron Devices», 1962, v. ED—9, № 2, p. 153. *В. А. Кузьмин.*

ЧИСЛОВОЕ КОДИРОВАНИЕ ПОНЯТИЙ (digital coding of conceptions; codage numérique des notions; numerische Codierung von Begriffen) — представление понятий в виде цифровых кодов (чисел), допускающее однозначный переход от их буквенной записи к цифровым кодам и однозначное *декодирование*. Наименования понятий, состоящие из одного или неск. слов, широко используются в автоматизированных информац. системах, основанных на формализов. записи сведений в виде *таблиц объектно-характеристических* или библиографич. описаний документов (объекты, хар-ки, классификационные или предметные рубрики). Примеры наименований понятий: «предохранители», «силовые кабели», «электромагнитные линии задержки», «измерение напряжения пост. тока», «элементы аппаратуры для механич. записи и воспроизведения звука» и др. В наименованиях понятий подобного рода гл. слово (осн. носитель смысла), как правило,— первое (считая от начала) существительное.

Неудобство операций над естеств. буквенной записью наименований понятий в большинстве существующих ЦВМ делает полезным применение Ч. к. п. при автоматич. обработке информации. Ч. к. п. может производиться автоматически с помощью двух словарей: словаря основ слов и словаря понятий. В первый включаются буквенные коды основ наиболее часто встречающихся слов и всех слов, входящих в состав наименований объектов и хар-к (или предметных рубрик) автоматизиров. информац. системы. Каждой основе слова поставлен в соответствие номер грамматич. класса, определяющего синтаксич. св-ва и характер изменения буквенного состава слова в различных контекстных окружениях. Омонимичным основам ставятся в соответствие наборы номеров классов. В словаре основы слов расположены в порядке возрастания их длины, а в пределах группы основ равной длины — по алфавиту. Каждой основе присвоен порядковый номер, к-рый определяется ее позицией в словаре и нигде не записывается.

Словарь понятий содержит список сверенных кодов наименований различных объектов и хар-к, используемых в информац. системе. Каждое наименование понятия представлено в словаре сочетанием номеров основ слов, входящих в его состав, и номеров грамматич. структуры, определяющей связи между словами. Сочетания номеров основ упорядочены по длине, а в пределах группы одинаковой длины — по возрастанию величины кодов этих сочетаний. Как и в случае словаря основ, каждому понятию присвоен порядковый номер, определяемый его позицией в словаре. Нумерованные наименования объектов типа «125-й бетонный завод», «2-й часовой завод» и т. п. записываются в словаре в виде сочетания номера объекта и номера словесной части его наименования по словарю понятий.

Автоматич. кодирование наименований понятий осуществляется в три этапа. Сначала слова, входящие в наименование понятия, отождествляют с элементами словаря основ слов и получают грамматич. информацию о каждому слову (морфологич. анализ). Слова заменяются номерами их основ по словарю и сопровождаются грамматич. информацией. При этом разрешается омонимия основ слов путем последовательной проверки на совместность каждого грамматич. класса словарной основы и окончания анализируемого слова. На 2-м этапе кодирования выявляется грамматич. структура наименования понятия (синтаксич. анализ) и разрешается омонимия словоформ. Наконец, полученный в результате первых двух этапов код отождествляется с одним из элементов словаря понятий и заменяется на порядковый номер этого элемента (семантич. анализ). Порядковый номер понятия далее используется в качестве его кода.

В грамматич. структуре наименования понятия отображается информация к отдельным словам и схема связей между ними. Каждому слову ставится в соответствие однозначная грамматич. информация, к-рая совместно с информацией словаря основ дает возможность при декодировании понятий правильно синтезировать буквенные коды слов. При этом для существительных указывается число и падеж, для прилагательных — род, число и падеж. Остальным классам слов ставится в соответствие «нулевая информация», т. к. необходимые сведения о них имеются в словаре основ слов.

Одна из задач синтаксич. анализа наименований понятий — приведение их грамматич. структуры к канонич. форме. Это достигается назначением гл. слову (первому слева существительному) наименования понятия и согласованным с ним прилагательным грамматич. информации «именительный падеж единств. числа», а также перестановкой слов и групп слов, не искажающих смысла наименований. Перестановки слов в наименованиях понятий делаются т. о., чтобы там, где это возможно, слова были упорядочены слева направо по возрастанию номеров их основ, а группы слов — по возрастанию номеров основ их начальных слов.

При автоматич. отождествлении наименований понятий может быть 3 случая: 1) свернутый код анализируемого понятия полностью совпадает с одним из кодов словаря понятий; 2) искомого понятия в словаре нет, но в нем есть более узкие по объему понятия, и этот факт может быть выявлен путем сопоставления словарного состава и грамматич. структур наименований искомого понятия и понятий из словаря; 3) анализируемое наименование понятия не удовлетворяет ни одному из условий, перечисленных в пп. 1, 2. В последнем случае из словаря автоматически выбираются наименования понятий, наиболее близких по смыслу искомому понятию, и после декодирования представляются человеку для окончат. оценки и отбора. Т. о., в результате выполнения процедуры автоматич. отождествления между анализируемым понятием и понятиями словаря устанавливаются отношения по объему. В 1-м случае это — отношение тождества, во 2-м— отношение включения, в 3-м— имеет место пересечение объемов анализируемого понятия и понятий из словаря.

Понятие словаря считается более узким по объему, чем искомое понятие, если: 1) главные слова наименований словарного и искомого понятий совпадают; 2) все слова наименования искомого понятия входят в состав наименования словарного понятия, а его грамматич. структура является частью грамматич. структуры наименования понятия из словаря. Напр., понятие «Горьковский автомобильный завод» является более узким по объему, чем понятие «автомобильный завод» (в обоих случаях гл. слова выделены).

У близких по смыслу наименований понятий гл. слова должны быть одинаковыми. Кроме того, может совпадать и часть др. слов, определяющих эти главные слова.

Подобно процессу кодирования, декодирование наименований понятий также осуществляется в три этапа. Сначала по номеру понятия из словаря понятий выбирается сочетание номеров основ слов и грамматич. структура наименования понятия (семантич. синтез). Затем полученная грамматич. информация преобразуется к виду, удобному для синтеза буквенных кодов слов (синтаксич. синтез). Наконец, с помощью словаря основ слов формируется буквенный код наименования (морфологич. синтез).

Автоматическое Ч. к. п. может применяться и в упрощенном варианте, когда вместо словаря основ слов используется словарь словоформ, а в словаре понятий каждое наименование представляется в виде сочетания номеров словоформ, входящих в его состав. Кодирование понятий производится в два этапа: сначала все слова заменяются их порядковыми номерами по словарю словоформ, затем полученная последовательность номеров словоформ ищется в словаре понятий и заменяется на ее порядковый номер. Упрощенный способ кодирования не позволяет автоматически отождествлять различные формы наименований одного и того же понятия, но он проще, чем описанный выше способ.

С задачей Ч. к. п. непосредственно связаны различные способы кодирования классификац. отношений между понятиями (УДК, система Перри — Кента, тезаурусы, дескрипторы и т. п.). Переход от номеров понятий, полученных в результате Ч. к. п., к их классификац. кодам, отражающим эти отношения, может быть осуществлен автоматически с помощью классификац. словаря понятий. О способах кодирования классификац. отношений между понятиями см. также *Научно-технической информации обработка*, *Информационный язык*, *Информационный поиск*.

Лит.: Обреимов И. В., О цифровом кодировании научных понятий, М., 1961; Грязнухина Т. А., Пшеничная Л. Э., Скороходько Э. Ф., Система информационного поиска, (Об одном способе машинного поиска литературы), Киев, 1964; Бернштейн Э. С., Лахути Д. Г., Черняевский В. С., Некоторые вопросы построения дескрипторных информационно-поисковых систем, «Научно-техническая информация. ВИНИТИ», 1963, № 1; Шрейдер Ю. А., Машинный перевод на основе смыслового кодирования текстов, там же; Пензина Н. А., Построение кода в информационно-поисковой системе Перри—Кента, там же, 1962, № 9; Арапов М. В., Применение метода тезаурусов к машинному переводу, там же, 1962, № 11; Энатский О. Д., Некоторые принципы построения классификационной системы для автоматической обработки информации, там же, 1964, № 7; Белоногов Г. Г., Григорьев В. И., Котов Р. Г., Автоматическое лексическое кодирование сообщений, «Вопр. языкознания», 1960, № 4; Белоногов Г. Г., Распределение частот появления флективных классов русских слов, в сб.: Проблемы кибернетики, вып. 11, М., 1964. *Г. Г. Белоногов.*

ЧИСЛОВЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕЗУЛЬТАТОВ ИЗМЕРЕНИЙ, статистические свойства измеряемой величины (numerical characteristics of measurment results; caractéristiques numériques des mesures; digital Daten von Messwerten), — количественные характеристики массовых измерений. Результаты измерений зависят от множества взаимосвязанных факторов, к-рые невозможно изучить полностью. Поэтому практически ограничиваются изучением влияния только факторов, проявляющихся постоянно, как определяющих в основном характер изменения измеряемой величины. Для учета же влияния факторов, носящих случайный характер, применяются методы теории вероятностей (см. *Вероятность*).

Результаты измерений, описываемые *случайной величиной*, полностью определяются ф-цией распределения (интегральным законом распределения) случайной величины X, равной вероятности того, что случайная величина находится ниже уровня x: $F(x)=P\{X<x\}$. Первая производная ф-ции распределения $F(x)$ по переменной x: $\frac{\partial F(x)}{\partial x}=\varphi(x)$, наз. плотностью вероятности или дифференц. законом распределения, к-рый также является

исчерпывающей хар-кой измеряемой величины. Во многих практич. случаях достаточны более бедные хар-ки измеряемой величины, напр. след. числовые хар-ки случайной величины: математич. ожидание $M\{X\}=\int_{-\infty}^{\infty} x\varphi(x)dx$, дисперсия $D\{X\}=\int_{-\infty}^{\infty}[x-M\{X\}]^2\varphi(x)\,dx$ и др.

Если случайные величины дискретны, то числовая хар-ка математич. ожидания получит выражение: $M\{X\}=\sum_{i=1}^{n} x_iP\{x_i\}$ и дисперсии $D\{X\}=\sum_{i=1}^{n}[x_i-M\{X\}]^2P(x_i)$, где $P(x_i)$ — вероятность появления i-го значения случайной величины X. В технике измерения в качестве хар-ки рассеивания вместо дисперсии, имеющей размерность квадрата измеряемой величины, используется среднее квадратич. отклонение σ_x, имеющее ту же размерность, что и измеряемая величина, и равное положит. квадратному корню из дисперсии: $\sigma_x=\sqrt{D(X)}$. Среднее значение математич. ожидания суммы измеряемых величин X равно сумме математич. ожиданий измеряемых величин $M\{\sum_j X_j\}=\sum_j M\{X_j\}$, откуда математич. ожидание суммы измеряемой величины X и постоянной A равно сумме математич. ожидания измеряемой величины и этой постоянной $M\{X+A\}=M\{X\}+A$, т. к. математич. ожидание постоянной есть сама эта постоянная. Математич. ожидание произведения независимых измеряемых величин равно произведению их математич. ожиданий $M\{\prod_j X_j\}=\prod_j M\{X_j\}$, и, следовательно, математич. ожидание произведения измеряемой величины на постоянную равно произведению математич. ожидания измеряемой величины на эту постоянную $M\{AX\}=AM\{X\}$. Если заданная величина Y — линейная ф-ция измеряемой величины X вида $Y=a+bx$, то математич. ожидание Y равно $M\{Y\}=a+bM\{X\}$. Математич. ожидание произведения двух линейно зависимых измеряемых величин Y и X равно $M\{YX\}=M\{Y\}M\{X\}+r_{yx}\sigma_y\sigma_x$, где r_{yx} — коэфф. корреляции между Y и X. Сумма отклонений отд. результатов n измерений X от их математич. ожидания равна нулю:

$$\sum_{j=1}^{n}(x_j-M\{X\})=0 \text{ и } \sum_i(x_i-M\{X\})P(x_i)=0.$$

Сумма квадратов отклонений отд. результатов n измерений от их математич. ожидания меньше суммы квадратов отклонений этих результатов от любого другого числа A:

$$\sum_{j=1}^{n}(x_j-M\{X\})^2<\sum_{j=1}^{n}(x_j-A)^2$$

и

$$\sum_i(x_i-M\{X\})^2P(x_i)<\sum_i(x_i-A)^2P(x_i)$$

$(A\neq M\{X\})$. Дисперсия суммы независимых измеряемых величин X_j равна сумме дисперсий измеряемых величин $D\{\sum_j X_j\}=\sum_j D\{X_j\}$, откуда следует, что среднее квадратич. отклонение суммы независимых измеряемых величин равно корню квадратному из суммы квадратов средних квадратич. отклонений измеряемых величин $\sigma_Z=\sqrt{\sum_j\sigma_{x_j}^2}$, где $Z=\sum_j x_j$. Дисперсия суммы двух линейно зависимых измеряемых величин Y и X равна $D\{Y+X\}=D\{Y\}+D\{X\}+2r_{yx}\sigma_y\sigma_x$. Дисперсия суммы постоянной и измеряемой величин равна дисперсии измеряемой величины $D\{A+X\}=D\{X\}$, т. к. дисперсия постоянной равна нулю. Дисперсия произведения измеряемых величин Y и X равна $D\{YX\}=D\{Y\}D\{X\}+M^2\{Y\}D\{X\}+M^2\{X\}D\{Y\}$. Дисперсия произведения постоянной и измеряемой величины равна $D\{AX\}=A^2D\{X\}$. Дисперсия оценок математического ожидания n независимых измеряемых величин X, имеющих одну и ту же плотность вероятности (и следовательно, равные математич. ожидания и дисперсии), равна дисперсии одной из этих величин, деленной на n:

$$D\{M\{X\}\}=D\left\{\frac{X_1+X_2+\ldots+X_n}{n}\right\}=\frac{D\{X\}}{n},$$

откуда

$$\sigma\{M\{X\}\}=\frac{\sigma_x}{\sqrt{n}}.$$

В технич. измерениях вместо математич. ожидания применяют также такие числовые хар-ки, как медиана или мода. Для непрерывной измеряемой величины медиана $M_e\{X\}$ определяется из соотношения

$$\int_{-\infty}^{M_e\{X\}}\varphi(x)\,dx=\int_{M_e\{X\}}^{\infty}\varphi(x)\,dx=1/2;$$

для дискретной измеряемой величины для случая, когда

$$\sum_{j=1}^{m-1}P(x_j)=\sum_{j=m}^{n}P(x_j),$$

медиана равна промежуточному значению между x_{m-1} и x_m, и для случая, когда

$$\sum_{j=1}^{m-1}P(x_j)<\sum_{j=m}^{n}P(x_j) \text{ и } \sum_{j=1}^{m}P(x_j)>\sum_{j=m}^{n}P(x_j)$$

она также равна промежуточному значению между x_{m-1} и x_m (значения $x_1, x_2, \ldots, x_n$ расположены в порядке возрастания). Дисперсия оценок медианы и математич. ожидания измеряемой величины связана соотношением

$$D\{M_e\{X\}\}=\frac{\pi}{2}\cdot\frac{D\{M\{X\}\}}{n}.$$

Мода представляет собой наиболее вероятное значение измеряемой величины, т. е. мода равна значению измеряемой величины, для к-рого плотность вероятности имеет наибольшее значение. Для одномодальных симметричных законов распределения значения математич. ожидания медианы и моды совпадают. Асимметричность распределения измеряемой величины характеризуется значением $\alpha=\mu_3/\sigma_3$, а сглаженность распределения относительно центра — величиной $\vartheta=\mu_4/\sigma_4-3$, где μ_3 и μ_4 — центральные моменты соответственно третьего и четвертого порядков измеряемой величины. Значения α и ϑ наз. соответственно ассиметрией и эксцессом. В качестве хар-к рассеивания вместо дисперсии (или ср. квадратич. отклонения) в технических измерениях также применяются размах $R=x_{макс}-x_{мин}$ и среднее абс. отклонение $s=\left(\sum_{i=1}^{n}|x_i-M\{X\}|\right)/n$. Когда измеряемая величина описывается случайной ф-цией, то в качестве полных ее хар-к принимаются многомерные плотности вероятности, а в практике измерений обычно ограничиваются числовыми хар-ками: ср. значением, дисперсией и корреляционной ф-цией (см. *Вероятностный процесс*). Когда для заданных значений аргументов t_1 и t_2 случайной ф-ции $x(t)$ статистич. зависимость между $x(t_1)$ и $x(t_2)$ нелинейна, то в качестве более точной числовой хар-ки этой зависимости наряду с корреляционной ф-цией применяют дисперсионную ф-цию

$$\theta_{xx}(t_1,t_2)=\int_{-\infty}^{\infty}\{M[X(t_1)/X(t_2)-M[X(t_1)]\}^2\varphi_{x_2}(x_2,t_2)\,dx_2$$

или нормированную дисперсионную ф-цию

$$\eta_{xx}(t_1,t_2)=\sqrt{\frac{\theta_{xx}(t_1,t_2)}{D_x\{t_1\}}},$$

где $M\{X(t_1)/X(t_2)\}$ — условное математич. ожидание $X(t_1)$ относительно $X(t_2)$; $\varphi_{x_2}(x_2,t_2)$ — одновременная плотность вероятности случайной ф-ции $X(t)$ для заданного значения аргумента t_2; $D_x(t_1)$ — дисперсия $X(t_1)$. Аналогично для двух коррелированных измеряемых величин $Y(t)$ и $X(s)$ при нелинейной связи вместо взаимной корреляционной ф-ции используют взаимную дисперсионную ф-цию:

$$\theta_{yx}(t,s)=\int_{-\infty}^{\infty}[M\{Y(t)/X(s)\}-M\{Y(t)\}]^2\varphi_x(x,s)\,dx$$

или нормированную дисперсионную ф-цию

$$\eta_{yx}(t,s)=\sqrt{\frac{\theta_{yx}(t,s)}{D_y(t)}}.$$

Для стационарной, в широком смысле, случайной ф-ции $X(t)$ дисперсионная и нормированная дисперсионная ф-ции являются ф-циями одного аргумента $\tau=t_1-t_2$:

$$\theta_{xx}(t_1-t_2)=q_{xx}(\tau),$$

$$\eta_{xx}(\tau)=\sqrt{q_{xx}(\tau)/q_{xx}(0)},$$

где $q_{xx}(0)$ — дисперсия случайной ф-ции $X(t)$. При равных значениях аргументов дисперсионная ф-ция измеряемой величины $X(t)$ равна дисперсии $X(t)$, а нормированная дисперсионная ф-ция равна единице $\theta_{xx}(t,t)=D_x(t)$; $\eta_{xx}(t,t)=1$. Если для любых значений аргументов t_1 и t_2 связь между $X(t_1)$ и $X(t_2)$ линейна, то нормированная дисперсионная ф-ция равна модулю нормированной корреляционной функции $\eta_{xx}(t_1,t_2)=|K_{xx}(t_1,t_2)|$. Если $X(t_1)$ и $X(t_2)$ не связаны для любых t_1 и t_2, то: $\theta_{xx}(t_1,t_2)=0$; $\eta_{xx}(t_1,t_2)=0$.

Дисперсионная функция несимметрична: $\theta_{xx}(t_1,t_2)\neq\theta_{xx}(t_2,t_1)$, и произведение дисперсионных ф-ций $\theta_{xx}(t_1,t_2)$ и $\theta_{xx}(t_2,t_1)$ не больше произведения дисперсий измеряемых величин при тех же значениях аргументов:

$$\theta_{xx}(t_1,t_2)\,\theta_{xx}(t_2,t_1)\leqslant D\{X(t_1)\}\,D\{X(t_2)\}.$$

Нормированная дисперсионная ф-ция может принимать значения от 0 до единицы $[0\leqslant\eta_{xx}(t_1,t_2)\leqslant1]$. Если $\eta_{xx}(t_1,t_2)=0$, то $X(t_1)$ и $X(t_2)$ недисперсированы, а при $\eta_{xx}(t_1,t_2)=1$ между $X(t_1)$ и $X(t_2)$ существует однозначная связь. Корреляционная ф-ция измеряемых величин симметрична, т. е. $K_{xx}(t_1,t_2)=K_{xx}(t_2,t_1)$. Абсолютное значение корреляционной ф-ции не больше корня квадратного из дисперсий соответствующих значений аргументов измеряемой величины

$$|K_{xx}(t_1,t_2)|\leqslant\sqrt{D\{X(t_1)\}\,D\{X(t_2)\}}.$$

Свойства взаимных дисперсионных ф-ций и взаимных корреляционных ф-ций 2 или неск. измеряемых величин аналогичны. Статистич. хар-ки случайных величин и случайных ф-ций определяются по опытным данным (см. *Статистические оценки*).

Лит.: Гнеденко Б. В., Курс теории вероятностей, 3 изд., М., 1961; Дунин-Барковский И. В., Смирнов Н. В., Теория вероятностей и математическая статистика в технике (Общая часть), М., 1955; Лукомский Я. И., Теория корреляции и ее применение к анализу производства, 2 изд., М., 1961; Маликов М. Ф., Основы метрологии, ч. 1, М., 1949; Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 3 изд., М., 1962; Райбман Н. С., Мера определенности и точность прогнозирования при определении характеристик сложных объектов автоматизации статистическими методами, «АиТ», 1963, т. 24, № 9; Яглом А. М., Введение в теорию стационарных случайных функций, «УМН», 1952, т. 7, вып. 5(51).

Н. С. Райбман.

ЧИТАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО, читающая машина (reading device; dispositif de lecture; Lesekopf) — электронное устройство, предназначенное для автоматического распознавания и кодирования цифр, букв и слов печатного или написанного от руки текста с целью ввода получ. кода в информац. или вычислит. машины. Наиболее распространены Ч. у. для чтения цифр и символов на банковских чеках, используемые для автоматизации процесса ввода данных с денежных документов в ЦВМ. Эти операции (при наличии в обращении во всем мире более 50 млрд. банковских чеков) требуют автоматич. считывания цифр на чеках в объеме более 200 млрд. в год. Существуют Ч. у. для ввода печатного текста (с книг, журналов, отчетов) в электронные информац. машины, в переводческие машины. Проектируется устройство для считывания и обработки почтовых адресов с целью автоматизации процесса сортировки писем, телеграмм, бандеролей и т. п.

Ч. у. состоит из блока развертки изображения и блока опознавания. Развертка изображения знаков читаемого (черно-белого) текста производится во многих Ч. у. с помощью луча света, к-рый перемещается по тексту, а отраженные от него лучи улавливаются фотоэлементами, преобразующими их в электрич. сигналы. В блоке опознавания происходит автоматич. анализ сигналов развертки и сопоставление ряда их синтезиров. признаков с нек-рым набором составленных заранее признаков, характерных для всех опознаваемых и читаемых знаков. В результате этого машина автоматически определяет код знака. Число дискретных сигналов развертки одного знака на входе блока опознавания, как правило, в неск. сот раз больше сигналов двоичного кода опознаваемого знака. Так, при использовании 32 шагов развертки по горизонтали и 64 шагов развертки по вертикали на

блок опознавания при развертке каждого знака поступит 2048 сигналов, а после их анализа двоичный код знака будет состоять из 8 двоичных знаков при общем числе 256 опознаваемых букв и цифр. Следовательно, Ч. у. можно рассматривать как преобразователь избыточных двумерных кодов знака в одномерный двоичный код.

Во многих Ч. у. для считывания цифр и неск. символов с денежных документов (чеков) используется способ записи знаков *магнитными чернилами*. При считывании документ вначале проходит под намагничивающей головкой, благодаря чему линии, написанные магнитными чернилами, предварительно намагничиваются сильным магнитным полем головки. Затем документ проходит под 5 (или 7) рядом расположенными считывающими головками, аналогичными головкам магнитофона. При механич. протяжке (развертке) в обмотках электромагнитных считывающих головок образуются 5 (или 7) электрич. сигналов, длительность к-рых зависит от формы знаков. Сочетание длинных и коротких импульсов от головок определяет код (двоичное число). По этому методу работает читающая машина «Фред» (Англия) (обрабатывает до 750 чеков в мин.). Такая же механич. развертка читаемых знаков производится при их записи токопроводящими красками. Считывание ведется при этом с помощью щеточных контактов из благородных металлов.

Электронно-оптич. способ развертки изображения знаков предпочтителен при чтении текста с книг и журналов, т. к. он позволяет с помощью системы оптич. линз легко изменять масштаб и считывать с большой скоростью (более 100 знаков в сек.) со сравнительно большего расстояния от поверхности текста.

Применяемые в Ч. у. методы анализа сигналов развертки печатных знаков с целью их опознавания и классификации учитывают возможные дефекты печати (сдвиги, перекос, загрязнения и т. п.). Метод шаблонов для опознавания состоит в том, что изображение анализируемого знака последовательно или параллельно сравнивается с изображениями отдельных шаблонов всех знаков; при совпадении воспроизводится двоичный код, приписанный данному шаблону. Метод был разработан в 1932 советским инженером В. Е. Агаповым с использованием механически перемещаемых шаблонов [см. 3]. Скорость чтения цифр была 8—10 цифр в мин. Совр. ЭЛТ и логич. ключи позволяют производить эти операции за десяток *мксек*. Развитие метода состоит в использовании последоват. коррелирования изображения опознаваемого знака с шаблонами знаков всего алфавита, и нахождении пикового значения *корреляционной функции*, к-рая определяет наилучшее совпадение шаблона и опознаваемого знака.

Метод фрагментов (масок или зондов) основан на классификации знаков по наличию (1) или отсутствию (0) печати (краски) в фиксиров. точках поля изображения знака. Кодовое описание знаков поэтому имеет двоичную форму. Знаки делятся на широкие (*Ш*, *Ж*) и узкие (*Л*, *Г*), с надстрочными фрагментами (*б*, *ф*), с подстрочными фрагментами (*р*, *д*), с вертикальными отрезками прямых (*П*, *И*), с овалами (*о*, *е*) и т. д. По этому методу опознавания построена англ. машина «Эра» (скорость 300 цифр в сек.), японская Токийской электротехнич. лаборатории (скорость 70 знаков в сек.) и читающая машина Всесоюзного ин-та научно-технич. информации АН СССР.

Интегральный метод распознавания построен на анализе площади (интеграла) проекций фигуры знака на прямые, проведенные под определ. углами от оси развертки. Метод использован в амер. читающей машине «ЕРМА» (скорость чтения 1200 знаков в сек.).

Для спец. целей нашел применение метод приспособления формы печатных знаков, одновременно удобных для визуального чтения человеком и для однозначного кодирования Ч. у. Такое изменение и приспособление стал печатного шрифта для Ч. у. получит широкое распространение в практике деловых форм информац. работы, для удобства двусторонней связи между человеком и информац. машиной. Для повышения надежности машинного чтения обычного типографского текста предлагается использовать в Ч. у. автоматич. словари, к-рые позволят учитывать степень вероятности появления той или иной буквы среди др. опознанных букв читаемого слова. В этом случае Ч. у. будет лучше моделировать процесс чтения человеком печатного текста.

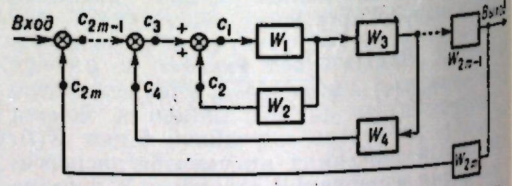
Лит.: 1) Читающие устройства. Сборник докладов на конференции по обработке информации, машинному переводу и автоматическому чтению текста, М., 19[illegible] (имеется библ.); 2) Гутенмахер Л. И., Электронные информационно-логические машины, 2 изд., М., 1962; 3) Сочивко В. П., Опознающие устройства. (Обзор отечественной и зарубежной литературы), [Л.], 1963; 4) Харкевич А. А., О принципах построения читающих машин, «Р-ка», 1[illegible], т. 15, № 2.

Л. И. Гутенмахер.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТОЧКИ (sensitivity points; points de sensibilité; Empfindlichkeitspunkte, Empfindlichkeitsstellen) — точки на структурной схеме (модели) системы, обладающие след. свойством: передаточная ф-ция от входа системы до Ч. т. равна логарифмич. чувствительности (см. *Чувствительность*)

$$S^{K}_{W_j(s)}(s) = \frac{\partial \ln K(s)}{\partial \ln W_j(s)}$$

относительно определ. блока $W_j(s)$; $K(s)$ — передаточная ф-ция системы. Для многоконтурных систем, соответствующих структуре (рис.), Ч. т. c_j определяются непосредственно



Блок-схема многоконтурной системы: m — число блоков; $C_1, \ldots, C_{2m}$ — точки чувствительности.

на блок-схеме системы. Для структур других типов Ч. т. определяются на модели чувствительности, получаемой из блок-схемы системы путем структурных преобразований.

Если на вход модели чувствительности (или 2-го экземпляра системы) подать выходную координату $x(t)$ системы, то в Ч. т. образуются сигналы $\frac{\partial x(t)}{\partial \ln k_j}$, где k_j — коэфф. усиления блоков $W_j(s)$. Из этих сигналов легко получаются ф-ции чувствительности $\frac{\partial x(t)}{\partial k_j} = \frac{\partial x(t)}{\partial \ln k_j} \cdot \frac{1}{k_j}$. При необходимости получения ф-ций чувствительности относительно других параметров α_j блоков (напр., постоянных времени) к Ч. т. подключаются простые дополнит. блоки с передаточными ф-циями $\partial \ln W_j(s)/\partial \ln \alpha_j$.

Использование Ч. т. позволяет получать одновременно (на одной модели чувствительности) ф-ции чувствительности относительно разных параметров. Помимо уменьшения аппаратуры для эксперимент. анализа точности систем управления в условиях вариации их параметров, это дает возможность упростить построение беспоисковых градиентных систем самонастройки.

Лит.: Кокотович П., «АиТ», 1964, т. 25, № 12.

Р. С. Рутман.

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ (sensitivity; sensibilité; Empfindlichkeit) — степень влияния параметров системы на ее координаты и показатели. Ч. определяет точность системы в условиях нежелат. вариаций ее параметров и способность системы к настройке со стороны регулируемых параметров.

Теория Ч. систем управления развивалась на базе исследований по точности счетно-решающих механизмов, электрич. цепей и измерит. приборов, а также работ в смежных математич. разделах. С этой точки зрения представляет интерес взаимоотношение теории Ч. и теории устойчивости динамич. систем. Осн. проблема теории устойчивости: нахождение связи между изменениями нач. условий и движением динамич. системы на бесконечном интервале времени. Теория Ч. ищет связь между изменением параметров в общем случае (включая и изменение порядка дифференц. ур-ния) и переходными процессами в динамич. системе, независимо от того, наблюдаются ли они на конечном или бесконечном интервале времени. Часто приходится принимать во внимание возможность значит. отклонений параметров α от их исходных значений α_0. В этом случае необходимо исследование Ч. во всем параметрич. пространстве — глобальной Ч. Представляет интерес и т. н. инверсная задача Ч.: по известному дополнит. движению требуется определить значения параметров и их вариации, вызвавшие это дополнит. движение. Другие обобщения теории Ч. систем управления связаны с исследованием влияния не только простейших физич. параметров системы, но и таких факторов, как изменение структуры, изменение нелинейной хар-ки в системе, замена точных законов управления приближенными и т. д. Первый из этих вопросов частично охватывается работами по Ч. к повышению порядка системы; второе направление связывается с количеств. оценками, разработанными при исследовании абсолютной устойчивости. Большой интерес представляет третье направление, открывающее путь для приближенной реализации оптимальных систем. Обобщения теории Ч. позволяют подойти с новой точки зрения и к таким задачам, как уменьшение погрешностей квантования в гибридных (цифро-аналоговых) вычислит. устройствах. В целом теория Ч. оказывает ценную помощь при синтезе и проектировании динамич. систем: она точно устанавливает критич. места с точки зрения соответствия математич. моделей и реальных динамич. систем. Это позволяет сделать ценные выводы о влиянии изменения отдельных параметров и о дополнит. мерах для повышения точности системы. Кроме того, теория Ч. открывает пути новым методам создания точных систем автоматики, управления, а также эффективным методам параметрич. компенсации в самоприспосабливающихся системах.

При анализе Ч. влияние параметров изучается вблизи нек-рого исходного значения векторов параметров $\alpha_0 = (\alpha^0_{01}, \ldots, \alpha_{0m})$. Отклонения значений параметров α_j от исходных рассматриваются как вариации параметров. Эти вариации вызывают дополнит. движение, к-рое определяется как разность движений в системе при наличии и при отсутствии вариаций.

При малых вариациях параметров $\Delta\alpha_j$ дополнит. движение Δx_i выражается приближенно через частные производные координат x_i по параметрам α_j, т. е. при помощи первых членов ряда Тэйлора:

$$\Delta x_i(t) \approx \sum_j \left(\frac{\partial x_i(t)}{\partial \alpha_j}\right)_{\alpha=\alpha_0} \Delta\alpha_j. \qquad (1)$$

Эти частные производные, играющие основную роль в анализе Ч., наз. ф-циями Ч.:

$$u_{ij}(t) = \frac{\partial x_i}{\partial \alpha_j}. \qquad (2)$$

Аналогично определяются ф-ции Ч. высшего порядка $\frac{\partial^\mu x}{\partial \alpha^\mu}$, $\mu = 2, 3, \ldots$, и смешанные ф-ции Ч. вида: $\frac{\partial^r x}{\partial \alpha_1^s \partial \alpha_2^q}$, где r, s, q — целые числа.

Ч. линейных систем удобно описывается в частотной области посредством частных производных $\frac{\partial K(s)}{\partial \alpha_j}$ передаточной ф-ции системы $K(s)$ по параметрам α_j. Чаще применяется логарифмич. производная, для к-рой используется термин «логарифмич. Ч.». Она дает связь между малой относит. вариацией передаточной ф-ции $K(s)$ и обусловившей ее малой относит. вариацией параметра α:

$$S^K_\alpha(s) = \frac{\partial \ln K(s)}{\partial \ln \alpha} \approx \frac{\Delta K(s)/K(s)}{\Delta\alpha/\alpha}. \qquad (3)$$

В зависимости от имеющегося аналитич. описания системы и от использования эксперимент. данных, для анализа Ч. применяются различные методы.

Метод уравнений Ч. [1, 6, 8] заключается в составлении и решении т. н. ур-ний Ч. совместно с исходной системой дифференц. ур-ний, описывающей движение динамич. системы при отсутствии вариаций параметров:

$$\frac{dx_i}{dt} = \varphi_i(x_1, \ldots, x_n, \alpha, t),$$
$$i = 1, \ldots, n, \quad [x(0) = x_0]. \qquad (4)$$

Система ур-ний Ч.:

$$\frac{du_i}{dt} = \sum_{j=1}^{n} \frac{\partial \varphi_i}{\partial x_i} u_i + \frac{\partial \varphi_i}{\partial \alpha}, \qquad (5)$$

получается из исходной системы (4) дифференцированием по параметру α. Начальные условия системы ур-ний Ч. нулевые (если начальные условия исходной системы не зависят от α). Система ур-ний Ч. — линейная система дифференц. ур-ний — в общем случае с перем. коэфф. $\frac{\partial \varphi_i}{\partial x_j}$. Если исходная система линейна, то однородные ур-ния, соответствующие ур-ниям Ч. и исходным ур-ниям, совпадают. Метод ур-ний Ч. обобщается на случай

разрывных ф-ций φ с помощью импульсивных ф-ций (*дельта-функций*). Метод применим также к исследованию Ч. относительно параметров, повышающих порядок системы. Характерная особенность таких ф-ций Ч.— возможность разрывов при $t=0$.

Чтобы иметь возможность решить ур-ния Ч., необходимо знать решение исходной системы, к-рое определяет перем. коэфф. $\frac{\partial\varphi}{\partial x_j}$ и внешние воздействия $\frac{\partial\varphi_i}{\partial\alpha}$ для ур-ний Ч. В соответствии с этим моделирование ф-ций Ч. на аналоговых устройствах производится путем совместного набора исходной системы и системы ур-ний Ч. Аналогично решаются ур-ния Ч. и на ЦВМ.

Структурный метод весьма удобен при исследовании Ч. линейных стационарных систем и особенно для их эксперимент. исследования. Существ. особенности метода: варьируемый параметр выделяется на структурной схеме системы в качестве звена, и для эксперимент. получения ф-ций Ч. нужно располагать лишь входами и выходами системы и варьируемого звена, не имея полного аналитич. описания системы. Метод охватывает моделирование ф-ций Ч. и дополнит. движения. Схема моделирования ф-ции Ч. (рис. 1, *а*) состоит из двух моделей системы,

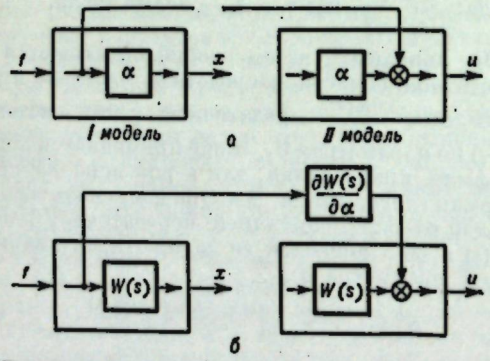


Рис. 1. Моделирование ф-ции чувствительности: а — параметр дан в виде варьируемого звена; б — общий случай варьируемого звена; f — входной сигнал; x — выходная координата; u — ф-ции Ч.; α — варьируемый параметр; $W(s)$ — звено, содержащее варьируемый параметр.

соединенных т. о., что входной сигнал варьируемого звена из 1-й модели поступает на выход варьируемого звена во 2-й модели (модели Ч.) как внешнее воздействие [2]. Вместо моделей можно использовать 2 идентичных экземпляра системы, причем в качестве первого используется нормально работающая система. В более сложном случае в системе выделяется звено $W(s)$, содержащее варьируемый параметр α, и в схеме моделирования ф-ции Ч. добавляется звено с передаточной ф-цией $\frac{\partial W(s)}{\partial\alpha}$ (рис. 1, *б*). Схема моделирования дополнит. движения (рис. 2) включает в себя, кроме 2 моделей системы, еще и модель вариации звена $\Delta W(s)$ [5]. Эта модель охватывается обратной связью со входа варьируемого звена из модели Ч. ($k=1$). При малых вариациях сигнал обратной связи пренебрежимо мал, и обратную связь можно не замыкать. Существ. достоинство метода — возможность изучения дополнит. движения в укрупненном масштабе ($k\gg1$).

Аналитич. соотношения структурного метода [2,5] следуют из схем рис. 1 и 2:

$$\left.\begin{aligned} U(s)&=F(s)\,K_1(s)\,\frac{\partial W(s)}{\partial\alpha}\,K_2(s),\\ \Delta X(s)&=F(s)\,K_1(s)\,\frac{\Delta W(s)\,K_2(s)}{1-\Delta W(s)\,K_3(s)},\end{aligned}\right\}\quad(6)$$

где

$$U(s)=L\{u(t)\}=\frac{\partial X(s)}{\partial\alpha},$$

$K_1(s)$, $K_2(s)$, $K_3(s)$ — передаточные ф-ции различных точек системы и по отношению к

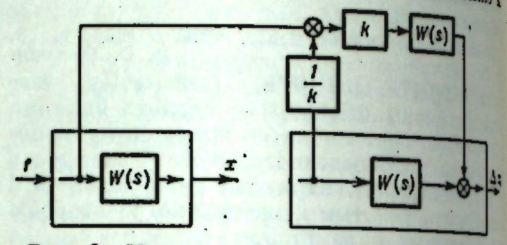


Рис. 2. Моделирование дополнит. движения в нормальном масштабе ($k=1$) и в укрупненном масштабе ($k\gg1$).

к внешним сигналам, приложенным: 1) ко входу системы до входа варьируемого звена, 2) к выходу варьируемого звена до выхода системы, 3) к выходу варьируемого звена до его входа. Неск. иной подход, использующий топологич. представление системы как линейного графа [1], дает выражение для логарифмич. Ч. в 2 эквивалентных формах:

$$S_\alpha^K=\frac{\Delta_\alpha}{\Delta}=\frac{\left(\sum P_k\Delta_k\right)_\alpha}{\sum P_k\Delta_k}=\frac{1}{F}-\frac{1}{F'},\quad(7)$$

где Δ — определитель графа, соответствующего исследуемой системе; P_k — прямые пути, Δ_k — соответствующие им миноры; индекс α означает исключение ветви, содержащей варьируемый параметр α; F — обратная разность, вычисленная в этой ветви; F' — нулевая обратная разность. Топологич. ф-ла в ряде случаев допускает простую структурную интерпретацию, позволяющую находить модели, соответствующие логарифмич. Ч. Для широкого класса структур модели, соответствующие логарифмич. Ч. относительно различных параметров, можно объединить в одной модели, совпадающей с моделью системы (см. *Чувствительности точки*). Тогда с помощью одной модели Ч. можно определять одновременно ф-ции Ч. относительно различных параметров [4, 5].

Синтез малочувствительных систем. Основное средство понижения Ч. систем управления — глубокая обратная связь, т. е. большой коэфф. усиления контура, содержащего варьируемые параметры. В пределе, при стремлении коэфф. усиления к бесконечности, движение системы не зависит от параметров прямой цепи. Разработаны методы построения структур, устойчивых при бесконечном увеличении коэфф. усиления [7]. К эффекту бесконечного коэфф. усиления можно свести и независимость координат от параметров управляемого объекта в скользящем режиме в релейных системах и системах переменной структуры. Согласно другому направлению в синтезе малочувствит. систем задаются не только требуемым значением передаточной ф-ции системы, но и к.-л. хар-кой Ч., напр.

ограничивается максимум модуля логарифмич. Ч. $S_\alpha^k(j\omega)$, а 2 независимых требования к системе удовлетворяются путем соответствующего выбора 2 хар-к (или более) корректирующих звеньев. В частности, так решается задача минимизации выбранной количеств. хар-ки Ч., напр. дисперсии дополнит. движения [5].

Настройка параметров с помощью ф-ций Ч. позволяет в ряде случаев строить беспоисковые самонастраивающиеся системы [4]. Если показатель качества представляет собой функционал координат, напр., вида:

$$I=\int_0^T F(x_1(\tau),\ldots,x_n(\tau))\,d\tau,\quad(8)$$

то составляющие вектора-градиента, указывающие зависимость показателя от координат α_j, выражаются через ф-ции Ч.:

$$\frac{\partial I}{\partial\alpha_j}=\sum_i\int_0^T\frac{\partial F}{\partial x_i}\frac{\partial x_i}{\partial\alpha_j}\,d\tau.\quad(9)$$

Ф-ции Ч. $u_{ij}=\frac{\partial x_i}{\partial\alpha_j}$ можно получить экспериментально одним из методов, изложенных выше. В линейных системах использование точек Ч. позволяет свести аппаратуру для получения ф-ций Ч. к минимуму. На рис. 3 дана

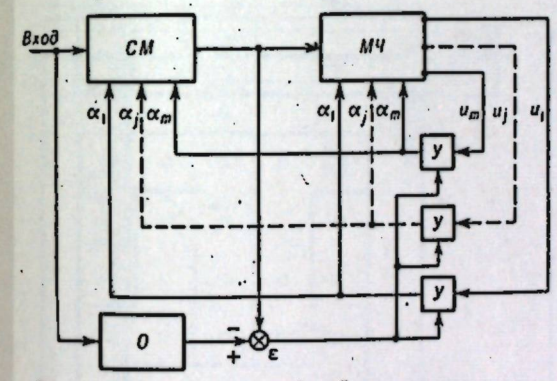


Рис. 3. Использование ф-ций чувствительности для самонастройки модели: *СМ* — самонастраивающаяся модель; *О* — объект; *МЧ* — дополнит. модель Ч.; *У* — блоки умножения.

схема *самонастраивающейся модели* с минимизируемым показателем качества

$$I=\int_0^T\varepsilon^2(\tau)d\tau.\quad(10)$$

Составляющие вектора-градиента образуются путем умножения погрешности настройки ε на ф-ции Ч. $u_j=\frac{\partial\varepsilon}{\partial\alpha_j}$; последние получаются на дополнит. модели в точках Ч.:

$$\frac{\partial I}{\partial\alpha_j}=\int_0^T 2\varepsilon\frac{\partial\varepsilon}{\partial\alpha_j}\,d\tau.\quad(11)$$

Аналогично используются ф-ции Ч. в ряде других задач самонастройки и автоматич. подбора параметров, в том числе для аппроксимации кривых, для удовлетворения заданным краевым условиям и т. п. [3].

Лит.: 1) Траксел Дж., Синтез систем автоматического регулирования, пер. с англ., М., 1959; 2) Быховский М. Л., Основы динамической точности электрических и механических цепей, М., 1958; 3) Кокотович П., Рутман Р. С., «АиТ», 1965, т. 26, № 4; 4) Кокотович П., «АиТ», 1964, т. 25, № 12; 5) Рутман Р. С., «ИАН СССР, Техн. кибернетика», 1965, № 2; 6) Васильева А. Б., «ДАН СССР», 1948, т.61, № 4, с. 597—99; 7) Моеров М. В., Синтез структур систем автоматического регулирования высокой точности, М., 1959; 8) Miller K. S., Murray F. J., «J. Math. and Phys.», 1953, v. 32, № 2—3, p. 136—65; 9) Horowitz I., Synthesis of feedback systems, N. Y.—L., 1962; 10) Tomović R., Sensitivity analysis of dynamic systems, N. Y., 1964.

Р. С. Рутман, Р. Томович (R. Tomović).

ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА (receiver sensitivity; sensibilité du récepteur; der Empfängerempfindlichkeit)— параметр, характеризующий способность приемного устройства принимать слабые сигналы. Номинальная Ч. п. у. количественно оценивается минимальной эдс сигнала в антенне, при которой обеспечивается заданная величина сигнала на выходе приемника; используется как хар-ка приемников радиовещат. диапазона и имеет величину порядка единиц и десятков *мкв* для радиовещательных и сотен *мкв* для телевиз. приемников. Иногда при использовании понятия номинальной Ч. п. у. термин «номинальная» опускается.

Реальная Ч. п. у. характеризует способность приемных устройств принимать слабые сигналы при наличии внешних и внутр. шумов. Она определяется миним. мощностью (эдс) сигнала в антенне или ее эквиваленте, при к-рой обеспечивается необходимое для норм. работы приемного устройства отношение сигнал/шум на его выходе. На длинных волнах осн. роль играют внешние помехи атм. и пром. происхождения, а собств. шумы приемника особого значения не имеют. Поэтому для приемников длинноволновых диапазонов такой показатель находит огранич. применение. Понятие реальной Ч. п. у. имеет большое значение для приемников метровых и более коротких волн, т. к. в этих диапазонах собств. и внешние шумы ограничивают возможность приема слабых сигналов.

Предельная (пороговая) Ч. п. у. определяется номинальной мощностью сигнала в антенне или ее эквиваленте, при к-рой отношение сигнал/шум на выходе линейной части приемника, т. е. на входе детектора, равно единице.

Ч. п. у. обычно выражается в *мкв*, *мвт* или *дбм*, т. е. в децибелах по отношению к уровню 1 *мвт* (см. *Логарифмические единицы усиления и ослабления*). Мощность, характеризующая пороговую Ч. п. у., $P_{пор}=kT_{эф}\Delta f$, где $T_{эф}$ — эффективная *шумовая температура* приемного устройства в целом (с учетом шумов антенны, антенно-фидерного тракта и собственно приемника), k—постоянная Больцмана, Δf—полоса пропускания приемника. Пороговая Ч. п. у. характеризует качество линейной части приемника в отношении вносимых ею шумов, но она не определяет полностью возможность обнаружения сигнала на фоне шумов. Отношение сигнал/шум после детектора обычно уменьшается; кроме того, для норм. работы оконечных устройств приемников необходимо в большинстве случаев нек-рое превышение сигнала над шумами (хотя в спец. случаях возможно обнаружение сигнала, лежащего ниже уровня шумов). Поэтому реальная Ч. п. у., как правило, хуже пороговой и определяется в значит. мере св-вами детектора, индикаторного устройства и характером последетекторной обработки сигнала.

С развитием дальней космич. связи и радиолокац. систем обнаружения объектов с большой дальностью действия чрезвычайно возросли требования к Ч. п. у. Задача повышения Ч. п. у. решается применением на входе приемников малошумящих *усилителей сверхвысокой частоты (парамагнитных усилителей квантовых, параметрических усилителей)*, малошумящих антенн и антенно-фидерных трактов с малыми потерями. Кроме того, для систем дальней связи с высокой Ч. п. у. характерно использование непрерывных сигналов с узким спектром с соответствующим сужением полосы пропускания Δf приемного устройства. При использовании квантового усилителя удается получить в сантиметровом диапазоне $T_{эф} \approx 50—100°$ К, что при результирующей полосе пропускания приемного устройства $\Delta f = 1$ *кгц* соответствует пороговой Ч. п. у. $P_{пор} \approx —150$ *дбм*. Реальная Ч. п. у. может быть при этом от —120 до —130 *дбм*. Эта Ч. п. у. в 50—100 раз лучше, чем у приемника без входного малошумящего усилителя (т. е. с преобразователем на входе).

Применение входных малошумящих усилителей СВЧ оправдано лишь в том случае, если шумы антенны вносят относительно небольшой вклад в шумовую темп-ру $T_{эф}$. Это имеет место в диапазоне волн $\lambda \approx 3—30$ *см*, где шумы пром. и атм. происхождения достаточно малы, а влияние космич. шумов при определ. положениях антенны также невелико. Поэтому диапазон волн 3—30 *см* является тем участком спектра, в к-ром работает большинство совр. систем дальней связи с высокой Ч. п. у.

Лит.: Сифоров В. И., Радиоприемники сверхвысоких частот, 2 изд., М., 1957; Куликовский А. А., Линейные каскады радиоприемников, М.—Л., 1958; Бобров Н. В., Радиоприемные устройства, М.—Л., 1958.

Л. Л. Москатов.

ЧУВСТВИТЕЛЬНЫЙ ЭЛЕМЕНТ [sensitive element; élément sensible (détecteur, élément de mesure); empfindliches Element] — воспринимающий элемент датчика измерительной или управляющей системы, реагирующий на изменение величины. Ч. э. служат мембраны, пьезокварцевые пластинки, гироскопы, термосопротивления и др. Как правило, Ч. э. преобразуют величину одной физ. природы в соответствующую ей величину другой физ. природы.

Лит.: Основы автоматического регулирования, под ред. В. В. Солодовникова, т. 2, ч. 1, М., 1959; Сотсков Б. С., Основы расчета и проектирования электромеханических элементов автоматических и телемеханических устройств автомата, М., 1959.

В. Г. Шольгин.

Ш, щ

ШЕННОНА ЛАБИРИНТ, «мышь» Шеннона (Shannon's maze; labyrinthe de Shannon; Shannon'sches Labyrinth), — устройство, сконструированное амер. ученым К. Шенноном и состоящее из лабиринта, содержащего 25 квадратных клеток (5×5), со съемными перегородками, релейного УУ и управляемого им электромеханич. привода, перемещающего щуп («мышь») по лабиринту. Общий вид первого образца Ш. л. дан на рис. 1. Машина

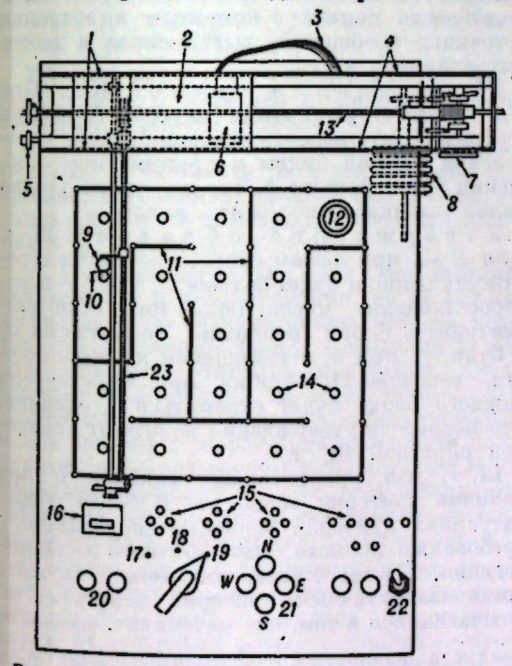


Рис. 1. Общий вид первого образца лабиринта Шеннона: *1* — ролики каретки; *2* — каретка; *3* — гибкий кабель к каретке; *4* — направляющие; *5* — двигатель «восток — запад»; *6* — двигатель «север — юг»; *7* — центрирующий переключатель; *8* — управляющие переключатели «восток — запад»; *9* — лампа; *10* — чувствительный щуп; *11* — перегородки лабиринта; *12* — цель; *13* — ходовой винт; *14* — гнезда для цели; *15* — индикаторные лампы; *16* — счетчик шагов; *17* — одношаговый режим; *18* — автоматич. режим; *19* — ручной режим; *20* — кнопки управления; *21* — ручное управление двигателя; *22* — выключатель; *23* — ходовой винт.

содержит ок. 75 реле. Ш. л. используется для демонстрации обучения (условных рефлексов) при решении лабиринтной задачи. Устройство функционирует следующим образом: экспериментатор формирует лабиринт, произвольно устанавливая перегородки между клетками, помещает в одну из клеток получившегося лабиринта неподвижный контакт, играющий роль цели («кусочка сала»), и в произвольную клетку (начало лабиринта) помещает подвижный щуп. В усовершенствованном варианте щуп был заменен металлич. фигуркой мыши на колесиках, перемещающейся с помощью подвижного магнита, расположенного под лабиринтом. Помещенная в нек-рую клетку «мышь» (щуп) после большого числа попыток попадает в заданную клетку — достигает цели. При повторном помещении в ту же клетку или при попадании в процессе поиска в ту клетку, где она уже была, «мышь» незамедлительно достигает цели сокращенным путем, исключая петли и тупики, пройденные в первый раз (рис. 2). Запоми-

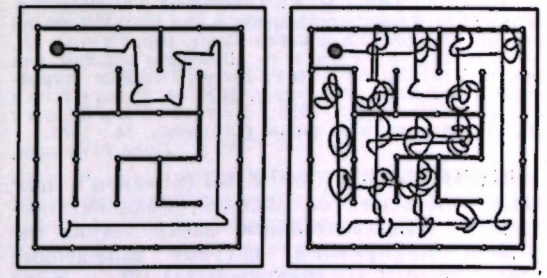


Рис. 2. Путь «мыши» в лабиринте Шеннона.

нание результатов поиска цели и управление движением щупа или магнита, перемещающего «мышь», осуществляется спец. релейным управляюще-вычислит. устройством, размещенным под лабиринтом. Алгоритм первонач. поиска цели очень прост: попав в к.-л. клетку, «мышь» (щуп) проверяет направления возможного движения и либо переходит в соседнюю клетку, либо, натыкаясь на стенку, проверяет следующее, сдвинутое против часовой стрелки на 90° направление. Этот алгоритм соответствует известному правилу «правой руки», по к-рому для нахождения выхода из лабиринта следует двигаться, не отрывая одну руку, напр. правую, от стенки лабиринта. Для запоминания результатов поиска служат реле (по два на каждую клетку), с помощью к-рых запоминается направление, в к-ром «мышь» последний раз покинула клетку. Двигаясь при повторном поме-

щении в лабиринт в направлении образовавшегося и сохраняющегося в памяти векторного поля, «мышь» достигает цели, минуя тупики и не натыкаясь на стенки. Если «мышь» поместить в незнакомую клетку, то она продолжит поиск, учитывая векторное поле, пока не попадет в ранее изученную («знакомую») клетку и не станет продолжать движение к цели по известному короткому пути.

При изменении лабиринта информация, сохранившаяся в памяти от старого лабиринта, может иногда привести к зацикливанию, т. е. к многократному следованию по замкнутому маршруту. Во избежание этого в режиме движения к цели ведется счет сделанных шагов и, если их число превзойдет заданную константу (24), система переходит в режим поиска.

Усовершенствованный вариант машины с «мышкой» содержит ок. 110 реле. В этом варианте поиск направления для выхода из клетки осуществляется по жребию.

Ш. л. является примером *обучающейся машины*, способной выполнять следующие ф-ции: решать задачу по методу «проб и ошибок», повторять без ошибок найденное решение, получать и использовать новую, ранее не известную информацию о лабиринте и «забывать» решение, если в силу изменившихся условий оно стало неприменимым.

Идеи, воспроизведенные в Ш. л., могут быть использованы, напр., в поисковых системах с памятью, осуществляющих поиск кратчайшего пути для связи двух междугородних телефонных абонентов. Чем чаще устанавливается связь между данными абонентами, тем большая информация о необходимых соединениях сохраняется в памяти и тем меньше времени требуется для поиска необходимых каналов.

Лит.: Шеннон К., Сообщение о машине, решающей лабиринтную задачу, в его кн.: Работы по теории информации и кибернетике, пер. с англ., М., 1963, с. 223—31; его же, Играющие машины, там же, с. 216—22; его же, Вычислительные устройства и автоматы, там же, с. 162—80; Полетаев И. А., Сигнал, М., 1958; Гаазе-Рапопорт М. Г., Автоматы и живые организмы, М., 1961.

М. Г. Гаазе-Рапопорт.

ШЕННОНОВЫ ТЕОРЕМЫ (Shannon's theorems; théorèmes de Shannon; Shannon-Theoreme) — фундаментальные факты теории передачи информации, впервые изложенные амер. ученым К. Шенноном [1]. Ш. т. дают ответ на одну из осн. проблем теории передачи информации. Эта проблема состоит в следующем. Заданы: ансамбль исходных сообщений ξ, под которым понимают множество предназначенных для передачи по каналу связи или хранения в запоминающем устройстве сообщений с их вероятностными характеристиками; канал связи, т. е. совокупность устройств и физических сред, с помощью которых сигналы передаются из одного места в другое, а также переносятся во времени (при хранении информации); требование к верности воспроизведения исходного сообщения на приемном конце. Способ передачи сообщений состоит в задании правила кодирования, согласно которому сообщениям сопоставляются сигналы на входе канала, и декодирования, согласно к-рому сигналам на выходе канала сопоставляются принимаемые сообщения. Надо определить, существует ли такой способ передачи, к-рый позволяет воспроизвести сообщения на приемном конце с заданной скоростью и с заданной верностью. Различают прямые и обратные Ш. т.

Ш. т. для дискретных источников и каналов без помех. Пусть сообщения и сигналы суть последовательности букв из заданных алфавитов, а требуемая верность сводится к полному воспроизведению исходного сообщения. Пусть далее H — энтропия источника на одну букву (см. *Энтропия*), а алфавит сигналов состоит из m букв.

Утверждение прямой Ш. т. В заданных условиях для любого $\varepsilon > 0$ существует способ передачи, при к-ром ср. число букв сигнала, приходящихся на одну букву сообщения, будет меньше $H/\log m + \varepsilon$. Из первонач. методов доказательства этой теоремы первый базируется на рассмотрении кодов Шеннона — Фено для блоков сообщений из n букв, а второй исходит из того, что если n достаточно велико, то $2^{n(H+\varepsilon_1)}$ наиболее вероятных блоков имеют вероятность большую, чем $1-\delta_1$, где ε_1 и δ_1 — сколь угодно малые положит. числа.

Утверждение обратной Ш. т. Для любого $\varepsilon > 0$ не существует способа передачи, при к-ром ср. число букв сигнала, приходящихся на одну букву сообщения, будет меньше $H/\log m + \varepsilon$.

Ш. т. для дискретного канала с помехами. Пусть C и H соответственно — пропускная способность канала с помехами и энтропия источника сообщений, выраженные в двоичных единицах в сек.

Утверждение прямой Ш. т. При $H < C$ существуют такие способы передачи сообщений, что вероятность ошибки при определении каждой буквы в принимаемом сообщении будет меньше δ, где ε — сколь угодно малое заданное положит. число.

Утверждение обратной Ш. т. Для $H > C$ при любом способе передачи вероятность ошибки будет больше δ, где δ — некоторое положит. число. Более того, если рассматривать блоки сообщений состоящими из n букв, то при n, стремящемся к бесконечности, вероятность ошибки при определении каждого блока будет стремиться к единице. Это последнее утверждение называют усиленной обратной Ш. т.

Ш. т. для произвольных каналов и при наличии критерия верности. В более общих ситуациях критерий верности не сводится к требованию полного безошибочного воспроизведения. Таким критерием может служить среднеквадратичный критерий верности, заключающийся в том, что математич. ожидание квадрата разности $\xi - \bar{\xi}$ не превосходит ε^2 (здесь ξ и $\bar{\xi}$ — исходное и принимаемое сообщения). Иногда критерий верности может сводиться к требованию: вероятность того, что буквы в принятом сообщении не совпадают с буквами исходного сообщения, меньше $\varepsilon > 0$. В этих ситуациях вместо энтропии рассматривается величина $H_\varepsilon(\xi)$, называемая скоростью создания сообщений, или ε-энтропией источника сообщений в единицу времени (см. *Эпсилон-энтропия*). $H_\varepsilon(\xi)$ — наименьшее количество информации в единицу времени, содержащееся в принимаемых сообщениях $\bar{\xi}$ относительно исходных сообщений ξ при условии, что пара $(\xi, \bar{\xi})$ удовлетворяет задаваемому получателем критерию верности.

Утверждение прямой Ш. т. Пусть $H_\varepsilon(\xi)$ — скорость создания сообщений, а C — пропускная способность канала, выраженная в двоичных единицах в сек. Тогда при $H_\varepsilon(\xi) < C$ существует способ передачи, при к-ром принимаемые сообщения удовлетворяют заданному критерию верности. Доказательство этого факта по существу сводится к следующему. Множество сообщений длительности T разбивается (квантуется) на $2^{T[H_\varepsilon(\xi)+\delta]}$ областей, и каждой области соотносится точка, отстоящая в смысле заданного критерия от любого сообщения области не более чем на ε. Затем любая точка области отождествляется с соответствующей точкой, наз. представителем сообщений. Знание представителей обеспечивает заданную верность воспроизведения. Далее на входе канала задаются $2^{T[H_\varepsilon(\xi)+\delta]}$ сигналов длительности T таких, что по выходному сигналу можно со сколь угодно малой вероятностью ошибки воспроизвести входной сигнал.

Передача сообщений теперь осуществляется приписыванием различным представителям сообщений различных входных сигналов. На приемном конце по выходным сигналам восстанавливаются входные сигналы, а затем — и представители сообщений. Существенно, что вероятность ошибочного определения входного сигнала по выходному убывает экспоненциально с ростом T.

Утверждение обратной Ш. т. При $H_\varepsilon(\xi) > C$ передача с заданным уровнем критерия верности невозможна.

Ш. т. справедливы для весьма общих физич. моделей. В частности, они справедливы для эргодич. источников, каналов без памяти, каналов с конечной памятью, гауссовских источников и каналов.

Ш. т. выражают только факт существования кодирования и декодирования, но не решают весьма важную задачу синтеза методов кодирования и декодирования. Последняя задача пока является открытой проблемой. Существенное препятствие на пути технич. осуществления оптим. способов передачи информации состоит в возрастании сложности кодирующих и декодирующих устройств при $H_\varepsilon(\xi)$, приближающейся к C. Это обусловливается экспоненц. ростом числа возможных сообщений и числа возможных сигналов с ростом T.

Развитие теории групповых кодов позволило выделить весьма простые методы кодирования сообщений и сигналов. Весьма трудная и не решенная общая проблема — проблема декодирования переданных сигналов по сигналам, принятым на выходе канала. В последнее время появились работы, позволяющие подойти к эффективному решению проблемы декодирования. К таким методам можно отнести последовательное декодирование и декодирование низкоплотностных кодов. В этих методах число операций при декодировании растет вместе с ростом задержки при декодировании не быстрее, чем нек-рая степень n; в то время как вероятность ошибки убывает экспоненциально по n.

Ш. т. были обобщены в самых различных направлениях. В частности, получены результаты типа Ш. т. для каналов с обратной связью. Сформулированы теоремы существования оптимальных способов передачи для системы передачи, в к-рых неизвестны полностью статистики сообщений и искажений, а указан только ряд ограничений, к-рым должны удовлетворять соответствующие распределения вероятностей (напр., известна только мощность передаваемого сообщения и сигнала).

Лит.: 1) Шеннон К., Работы по теории информации и кибернетике, пер. с англ., М., 1963; 2) Колмогоров А. Н., Теория передачи информации, М., 1956; 3) Добрушин Р. Л., Общая формулировка основной теоремы Шеннона в теории информации, «УМН», 1959, т. 14, вып. 6 (90); 4) Харкевич А. А., Борьба с помехами, М., 1963; 5) Хинчин А. Я., Об основных теоремах теории информации, «УМН», 1956, т. 11, вып. 1 (67); 6) Яглом А. М., Яглом И. М., Вероятность и информация, 2 изд., М., 1960; 7) Возенкрафт Дж. М., Рейффен Б., Последовательное декодирование, пер. с англ., М., 1963; 8) Файнштейн А., Основы теории информации, пер. с англ., М., 1960.

М. С. Пинскер.

ШЕСТНАДЦАТИРИЧНАЯ СИСТЕМА СЧИСЛЕНИЯ [sexadecimal number base; système de calcul sexadécimal (16 — naire); sedezimales Zahlensystem] — позиционная система счисления, основанием которой служит число шестнадцать. В Ш. с. с. используется шестнадцать различных между собой цифр. При неотрицательной базе это — десять т. н. «арабских» цифр и дополнительно шесть цифр, для обозначения к-рых применяют обычно первые буквы лат. алфавита. Т. о., в качестве шестнадцатиричных цифр применяют символы 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f*. Эти цифры являются обозначениями последоват. целых чисел, начиная с нуля и кончая пятнадцатью. Остальные целые числа представляются последовательностями цифр, причем число шестнадцать (основание Ш. с. с.) записывается как 10. При записи отрицат. чисел применяется знак «—» (минус). Всякое шестнадцатиричное число можно перевести в *десятичную систему счисления* («расшифровать»), записывая его в виде:

$$a_{n-1}\cdot 16^{n-1} + a_{n-2}\cdot 16^{n-2} + \ldots$$
$$\ldots + a_1\cdot 16^1 + a_0\cdot 16^0 + a_{-1}\cdot 16^{-1} + \ldots$$
$$\ldots + a_{-m}\cdot 16^{-m},$$

где a_i — десятичные числа, равные значениям шестнадцатиричных цифр, n — количество разрядов целой части шестнадцатиричного числа, а m — количество разрядов его дробной части. Напр., $10fd{,}c8$ (шестнадцатиричное) $= 1\cdot 16^3 + 0\cdot 16^2 + 15\cdot 16^1 + 13\cdot 16^0 + 14\cdot 16^{-1} + 8\cdot 16^{-2} = 4349{,}90625$ (десятичное). Перевод чисел из Ш. с. с. в *двоичную систему счисления* производят заменой каждой шестнадцатиричной цифры четырехразрядным двоичным числом, равным значению этой цифры. Например, $2fc9{,}05 = (0010)\ (1111)\ (1100)\ (1001),\ (0000)(0101) = 1011111001001{,}00000101$. Для перевода шестнадцатиричных чисел в *восьмеричную систему счисления* удобно сначала перейти к двоичной системе, а от нее уже к восьмеричной. Перевод двоичных чисел в Ш. с. с. производят, разбивая двоичное число от запятой влево и вправо на тетрады (четверки) и заменяя эти тетрады шестнадцатиричными цифрами, значения которых равны двоичным числам, имеющим одинаковое начертание с тетрадами. Для разбиения двоичного числа на полные тетрады иногда приходится приписывать к нему слева от одного до трех и (или) справа от одного до трех нулей (см. *Перевод чисел из одной системы счисления в другую*). Арифметич. действия над числами в

Ш. с. с. выполняются по правилам, к-рые аналогичны правилам для десятичной системы счисления. При выполнении этих действий применяют шестнадцатиричные таблицы сложения, вычитания и умножения, к-рые нетрудно составить.

Ш. с. с. используется при программировании для многих ЦВМ, рабочая система счисления к-рых является двоичной. Удобство Ш. с. с. связано с легкостью перехода от двоичной системы счисления к Ш. с. с. и обратно и с тем обстоятельством, что при записи на бланках шестнадцатиричные числа значительно компактнее двоичных. *Н. А. Криницкий.*

ШЕФФЕРА ФУНКЦИЯ, штрих Шеффера (Sheffer stroke symbol; fonction de Sheffer; Schäffer'sche Funktion),— логич. ф-ция от двух перем. высказываний A и B, определяемая правилом $A|B=\overline{AB}$ (отрицание конъюнкции). Таблица истинности Ш. ф. имеет вид:

B \ A	И	Л
И	Л	И
Л	И	И

Ш. ф. — единств. ф-ция двух переменных, через к-рую можно выразить любую логич. ф-цию от n перем. высказываний. Чтобы убедиться в возможности записать через Ш. ф. любую ф-цию *алгебры логики*, достаточно через Ш. ф. выразить отрицание высказывания, а также конъюнкцию и дизъюнкцию пары высказываний. Эти ф-ции получаются из Ш. ф. следующим образом.

Отрицание: $\overline{A}=A|A$; конъюнкция $AB=(A|B)|(A|B)$; дизъюнкция $A\vee B=(A|A)|(B|B)$. Через перечисленные ф-ции, как известно, выражается любая ф-ция от n высказываний. Так, ф-ция $f(A, B, C)=\overline{B}\vee\overline{AC}\vee AC$ следующим образом записывается через Ш. ф.:

$$f(A, B, C)=((A|B)|(B|C))|(C|A).$$

Ш. ф. обладает следующими свойствами:

$$1)\ A|B=B|A,\ 2)\ (A|B)|A=B,\ 3)\ (A|A)|(A|A)=A,$$

позволяющими тождественно преобразовывать выражения.

Запись сложных высказываний через Ш. ф. бывает полезна при анализе статистич. св-в *сложных схем*. На этом основано использование Ш. ф. в вероятностной логике.

Существуют ф-ции алгебры логики от двух переменных, через к-рые также можно записывать все остальные ф-ции, если еще использовать константу, т. е. всегда истинное высказывание E или всегда ложное высказывание U. В таблице приведены все эти ф-ции и выражения для отрицания, конъюнкции и дизъюнкции.

Функция $\varphi(A, B)$	Константа	Отрицание $\overline{A}$	Конъюнкция $AB(A\&B)$	Дизъюнкция $A\vee B$
$\overline{AB}=A\circ B$	E	$A\circ E$	$(A\circ E)\circ B$	$(A\circ(B\circ E))\circ E$
$A\overline{B}=A*B=B\circ A$	E	$E*A$	$A*(E*B)$	$E*((E*A)*B)$
$A\vee B=A\diamond B$	U	$A\diamond A$	$(A\diamond U)\diamond(B\diamond U)$	$(A\diamond B)\diamond U$
$\overline{\overline{A}B}=A\subset B$	U	$U\subset A$	$U\subset((U\subset A)\subset B)$	$A\subset(U\subset B)$
$A\overline{B}=A\supset B$	U	$A\supset U$	$(A\supset(U\supset B))\supset U$	$(U\supset A)\supset B$

Для конструирования любой однотактной логич. схемы достаточно иметь либо только элементы, реализующие Ш. ф., либо элементы, реализующие одну из пяти приведенных в таблице ф-ций и генераторы соответствующих констант. Для реализации многотактных систем нужно еще присоединить элементы, реализующие задержку. Существуют также универс. ф-ции более чем двух перем. высказываний, через к-рые можно выразить любую ф-цию алгебры логики. *Ю. А. Шрейдер.*

ШИФРАТОР [coder; chiffreur (disposé de chiffrage); Codierer] — устройство для кодирования сигналов в телемеханике, связи, радиолокации и др. Различают Ш. одноимпульсных и многоимпульсных сигналов. В первом виде Ш. придание импульсам требуемых характерных отличий осуществляется изменением рода, полярности, интенсивности, фазы, частоты, длительности и формы генерируемого импульса. Структуры многоимпульсных сигналов могут быть получены соответствующим размещением заданного числа импульсов обусловленного качества в сигнале (см. *Кодирующее устройство*, *Кодирование* в телемеханике, *Дешифратор*).

ШКАЛА НАСТРОЙКИ (tuning dial; échelle de réglage d'accord; Abstimmskala) — зависимость между коэфф. при отдельных членах в законе регулирования (пропорционального, интегрального и т. д.) и физ. величинами, определяющими значения этих коэфф. в данном регуляторе (напр., сопротивление, емкость конденсатора и т. д.).

Ш. н. задается в форме таблицы или графика. На нек-рых регуляторах шкала, по к-рой непосредственно производится установка заданной величины параметра настройки, градуируется в соответствии со Ш. н. Если зависимость между коэфф. в законе регулирования и значениями физ. величин линейна, то Ш. н. равномерная. При нелинейном характере Ш. н. делается неравномерной на основе существующей зависимости. При определении Ш. н. регулятора учитывается неточность реализации данного закона регулирования, а также наличие взаимозависимости между отдельными параметрами настройки, к-рая часто имеют место в реальных регуляторах.

Лит. см. при ст. *Настройка*. *С. Н. Дилигенский.*

ШКАЛА ПРИБОРА измерительного (scale of the instrument; échelle d'appareil de mesure; Gerätеskala) — совокупность отметок, изображающих ряд последоват. чисел, соответствующих значениям измеряемой прибором величины. Ш. п. наносится на циферблат — часть измерит. прибора, на к-рую также нанесены числа отсчета и, в большинстве случаев, характеризующие прибор условные обозначения, надписи и знаки. Ш. п. разделяются: по начертанию (прямолинейные, дуговые, круговые); по характеру расположения отметок (равномерные — с отношением длин наибольшего и наименьшего деления не более 1,3; неравномерные — с указанным отношением более 1,3); по освещенности (светящиеся, подсвеченные, светящиеся); по месту расположения нулевой отметки, соответствующей нулевому значению измеряемой величины (односторонние, двухсторонние, безнулевые); по количеству строк в одной шкале (однострочные, двухстрочные, многострочные). Ш. п. по всей длине разделяется отметками A на осн. интервалы, к-рые могут быть, кроме того, разделены отметками B на промежуточные интервалы и отметками C на деления (рис. 1). В равномерной Ш. п. число делений в интервалах, образованных отметками A или B, должно быть одинаковым. На Ш. п. может также наноситься поперечный масштаб. Кроме указанных отметок, по к-рым ведется отсчет значений измеряемой прибором величины, на Ш. п. может наноситься отметка механич. нуля, соответствующая положению подвижной части прибора, когда механич. или магнитный противодействующий момент равен нулю. На Ш. п. может быть выделена ее рабочая часть, в пределах к-рой погрешности показаний прибора не превышают нормированных для него значений, определяемых классом точности прибора. На Ш. п. может быть также выделена и перегрузочная часть.

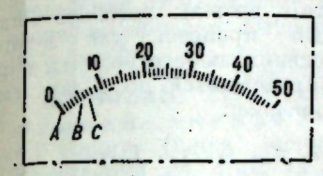


Рис. 1.

Пример двухстрочной Ш. п. с поперечным масштабом и рабочей частью, выделенной точками,— одна из шкал электроизмерит. приборов (амперметров, вольтметров и ваттметров) типа Д57 класса 0,1 (рис. 2). Пример Ш. п. с перегрузочной частью, где рабочая часть выделена дугой,— шкала перегрузочного амперметра (рис. 3). У многопредельных или комбинированных приборов на один циферблат может быть нанесено неск. шкал, напр. у электронных вольтметров (типа МВЛ-2 и др.) и у комбинированных (универсальных) ампервольтомметров (типов Ц56, Ц57, Ц435 и др.).

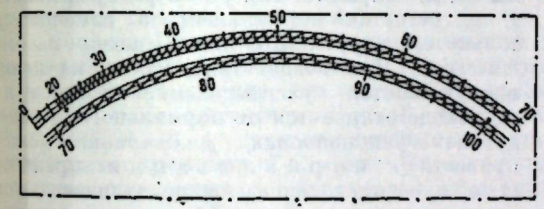


Рис. 2. Двухстрочная шкала с поперечным масштабом и рабочей частью, выделенной точками.

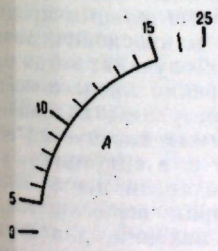


Рис. 3. Шкала перегрузочного амперметра с выделением рабочей части дугой.

Лит.: ГОСТ 7164—58. Потенциометры и уравновешенные мосты автоматические электронные; Бутусов И. В., Автоматические контрольно-измерительные и регулирующие приборы, 2 изд., Л., 1961. *М. Х. Шлиомович.*

ШКАЛЫ ВРЕМЯ ПРОХОЖДЕНИЯ (пробега) [scale time; durée de parcours de l'échelle; Ausschlagzeit (auf der Geräteskaia)] — промежуток времени от момента резкого изменения измеряемой прибором величины, вызвавшего перемещение указателя на всю длину шкалы, до момента установившегося положения указателя. Ш. в. п. нормируется для автоматич. электронных потенциометров и мостов и им подобных приборов. Такие приборы с Ш. в. п. 2,5 сек. и менее наз. быстродействующими. Выпускаемые пром-стью автоматич. электронные потенциометры и мосты с записью в прямоугольных координатах имеют Ш. в. п. 1; 2,5 и 8 сек. (приборы типов ЭПП-09, ЭМП-09 и их различные модификации) или 2,5 и 8 сек. (приборы типов ПС-1, МС-1 и их различные модификации). Из них быстродействующими в основном являются многоточечные приборы, предназнач. для работы с неск. датчиками, или приборы для записи относительно быстро меняющихся величин (напр., вторичные приборы газовых хроматографов). Электронные потенциометры и мосты с записью в полярных криволинейных координатах (приборы типов ЭПД, ЭМД, ЭП-120, ЭМ-120) и подобные им дифференциально-трансформаторные приборы (типа ЭПИД) имеют большее Ш. в. п.— от 15 до 30 сек. (служат для записи относительно медленно меняющихся величин, напр. температуры, расхода жидкости или газа).

Лит.: ГОСТ 7164—58. Потенциометры и уравновешенные мосты автоматические электронные; Бутусов И. В., Автоматические контрольно-измерительные и регулирующие приборы, 2 изд., Л., 1961. *М. Х. Шлиомович.*

ШКАЛЫ ДЕЛЕНИЕ (scale division, scale mark; repère d'échelle; Skalenteilung) — интервал между двумя соседними отметками шкалы измерит. прибора. В зависимости от того, в каких единицах выражен этот интервал, различают цену деления (если интервал выражен в значениях измеряемой прибором величины) и длину деления (если интервал выражен в единицах длины, напр. в *мм*). Цена Ш. д. не должна быть меньше половины абс. величины допустимой осн. погрешности прибора. Для приборов с равномерной шкалой цена Ш. д. не должна быть больше трехкратного значения абс. величины осн. погрешности, а для приборов с неравномерной шкалой — пятикратного.

Для однопредельных приборов цена Ш. д. выбирается из ряда $(1; 2; 5)\cdot 10^n$, а для многопредельных, кроме того, из ряда (1,25; 1,5; 2,5; 3; 4;6; 8)$\cdot 10^n$, где n—любое целое положит. или отрицат. число или нуль (это не относится к нулевым приборам, напр. к гальванометрам). Шкалы с поперечным масштабом могут иметь увеличенную относительно указанной выше цену деления (см. *Шкала прибора*).

Лит.: ГОСТ 5365—57. Приборы измерительные. Циферблаты и шкалы. Технические требования; ГОСТ 1845—59. Приборы электроизмерительные. Общие технические требования. [Приложение]. *М. Х. Шлиомович.*

ШУМ БЕЛЫЙ (white noise; bruit blanc; weißes Rauschen) — случайный стационарный (в широком смысле) процесс, энергетич. спектр к-рого равномерен на всех частотах (см. *Вероятностный процесс*, *Спектр энергетический*). Понятие Ш. б. относится только к спектральной картине случайного процесса и оставляет совершенно открытым вопрос о законах распределения. В сущности, распределение вероятностей Ш. б. в обычном смысле не существует. Корреляц. ф-ция Ш. б. представляет дельта-функцию в начале координат. Следовательно, Ш. б. характеризуется тем, что его значения в любые два (даже сколь угодно близкие) момента времени не коррелированы.

Ш. б. является идеализацией, никогда не реализуемой в действит. условиях, т. к., во-первых, достаточно близкие значения процессов практически всегда коррелированы, а

во-вторых, реальные процессы имеют конечную мощность в противоположность Ш. б., для к-рого она неограничена. Однако Ш. б.— полезная математич. модель реальных процессов, если рассматривать результат прохождения его через линейную систему. Вследствие ограниченности полос пропускания используемых в технике устройств оказываются неразличимыми энергетич. спектры процессов на выходе линейной системы, когда на ее вход действует Ш. б. или когда действует реальный процесс, спектр к-рого равномерен в диапазоне частот, значительно более широком, чем полоса пропускания системы. Распределение вероятностей указанного процесса на выходе линейной системы и определяет (в обобщенном смысле) тонкую вероятностную структуру Ш. б. Так, нормальный Ш. б. определяется нормальным распределением вероятностей процесса, который возникает как результат прохождения Ш. б. через линейную систему.

Энергетич. спектр Ш. б. на выходе линейной системы (с постоянными во времени параметрами) совпадает по форме с квадратом частотной хар-ки системы, а его корреляц. ф-ция отличается только пост. множителем от свертки импульсной переходной ф-ции системы. Взаимная корреляц. ф-ция процессов на входе и на выходе линейной системы (даже и параметрической), если на вход ее подается Ш. б., в точности совпадает с импульсной переходной ф-цией системы.

Нормальный Ш. б. является моделью (в указанном выше смысле) теплового шума, возникающего в проводниках вследствие хаотического движения свободных электронов. В имеющем практич. значение диапазоне частот ниже 10^{13} *гц* мощность N_0 теплового шума на единицу полосы частот остается постоянной и определяется по ф-ле Найквиста: $N_0 = n_ш kT$, где k — постоянная Больцмана, T — абс. темп-ра ($kT = 4 \cdot 10^{-21}$ *вт/гц* при $T = 288°$К) и $n_ш$ — коэфф. шума. Исследование спектра теплового шума выше указанной границы основано на детальном анализе квантово-механич. эффектов в твердом теле. Другой пример флуктуац. явления, для математич. описания к-рого может быть обоснованно использовано понятие Ш. б.,— дробовой шум, возникающий в вакуумных и ПП приборах вследствие случайного характера эмиссии и движения электронов в этих приборах. Для диода, работающего в режиме насыщения, мощность дробового шума на единицу полосы частот остается практически постоянной в диапазоне ниже $\frac{1}{\tau}$, где τ — время пролета электрона от катода к аноду, и определяется по ф-ле Шоттки $N_0 = e^2 \bar{n}_0$, где e — заряд электрона, $\bar{n}_0$ — ср. число электронов, эммитируемых катодом в сек.

Нормальный Ш. б. является производной случайного (марковского) процесса, описывающего броуновское движение частицы под влиянием ударов молекул жидкости. В том случае, когда на вход линейной системы с сосредоточ. параметрами действует нормальный Ш. б., процесс на ее выходе вместе с производными этого процесса представляет многомерный марковский случайный процесс.

Лит.: Давенпорт В. Б., Рут В. Л., Введение в теорию случайных сигналов и шумов, пер. с англ., М., 1960; Левин Б. Р., Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике, 2 изд., М., 1960; Миддлтон Д., Введение в статистическую теорию связи, пер. с англ., т. 1, М., Харкевич А. А., Борьба с помехами, М., Б. Р. Левин.

ШУМ НОРМАЛЬНЫЙ, шум гаусс... (normal noise; bruit normal; normales Rau... schen),— случайный процесс, для к-р... функции распределения любого порядка ... мальные, т. е. определяются по ф-ле (... *Вероятностный процесс*):

$$w_n(x_1, \ldots, x_n, t_1, \ldots, t_n) = \frac{1}{\sigma_1 \ldots \sigma_n \sqrt{(2\pi)^n D}} \times \exp\left\{ -\frac{1}{2D} \sum_{i=1}^{n} \sum_{j=1}^{n} D_{ij} \frac{x_i - a_i}{\sigma_i} \frac{x_j - a_j}{\sigma_j} \right\},$$

где a_i, σ_i^2 — среднее и дисперсия значений ... цесса в момент t_i; D, D_{ij} — определитель; ... алгебраич. дополнения корреляц. матр... составленной из коэфф. корреляции значе... процесса в два момента времени. Стацион... ный (в широком смысле) Ш. п. полно... определяется своей *корреляционной ф...цией*, причем из некоррелированности ... его значений следует также и их незави... мость.

При прохождении через линейные си... мы Ш. п. сохраняет вид ф-ции распределе... т. е. остается нормальным, а изменяет... только его корреляц. ф-ция и *спектр эне... тический*. При воздействии Ш. п. на ли... нейную систему распределение процесса ... ее выходе отличается от нормального. Пос... дующая узкополосная *фильтрация* мо... привести к нормализации проце... (т. е. к распределениям, мало отличающи... от нормального), если эффективная шир... энергетич. спектра входного процесса ме... больше, чем ширина полосы пропуска... фильтра на выходе.

Ш. п., его линейные и нелинейные преоб... зования охватывают широкий класс на... даваемых реально явлений. Адекватность ... матич. модели Ш. п. действительным про... сам (рассматриваемым с макроскопич. т... зрения) имеет место в тех случаях, когда ... более детальном рассмотрении процесс мо... быть представлен как результат наложе... большого числа независимых хаотически ... никающих импульсов, т. е. в ситуациях, ... к-рых становится справедливой централ... предельная теорема теории вероятностей.

Примерами реальных явлений, для к-р... достаточно обоснованно может использовать... модель Ш. п., служат тепловой ш... в проводниках (в диапазоне частот, не пре... шающем $\sim 10^{13}$ *гц*), дробовой шум ... случайного характера эмиссии электро... (при работе лампы в режиме насыщения) ... также процессы диффузии, броуновского д... жения и им подобные. В технике многокана... ной связи Ш. п. используется в качестве м... ли многоканального сообщения (уплотне... ного по частоте, по времени или по ко... кодовому признаку), а в радиолокации ... флуктуирующего сигнала, отраженного ... движущейся цели. При спец. предположе... о экспоненц. изменении корреляц. ф-... Ш. п. представляет одномерный марковск... случайный процесс.

Тот факт, что нормальное распределе... может быть получено сложением бесконе...

числа независимых процессов, используется в эксперимент. практике для создания источников Ш. п. путем суммирования гармонич. колебаний от независимых генераторов с подходящим образом выбранными амплитудами и частотами.

Лит. см. при ст. *Шум белый*. Б. Р. Левин.

ШУМОВАЯ ТЕМПЕРАТУРА, эффективная, эквивалентная, избыточная [noise temperature; temperature à caractère de bruit (à caractère aléatoire), temperature de souffle; Rauschtemperatur], — 1) Величина, имеющая размерность температуры, численно равная номин. мощности собств. шумов *четырехполюсника*, пересчитанной к его входу и выраженной в единицах $k\Delta f$, где k — постоянная Больцмана, Δf — полоса частот, т. е. $T_{эф} = P_ш / K_п \cdot k\Delta f$, где $T_{эф}$ — шумовая темп-ра, $P_ш$ — номин. мощность собств. шумов на выходе четырехполюсника, $K_п$ — коэфф. усиления номин. мощности четырехполюсника. Для двухполюсника: $T_{эф} = P_ш / k\Delta f$, где $P_ш$ — номин. мощность шума двухполюсника.

2) Темп-ра согласованного сопротивления (проводимости), к-рое при подключении ко входу электрически идентичного, но не шумящего (идеального) четырехполюсника создает на его выходе мощность шумов, равную номин. мощности собств. шумов рассматриваемого четырехполюсника.

Понятие Ш. т. чаще всего применяется к устройствам с *шумом белым*. Ш. т. выражается в градусах Кельвина; она связана с *шумфактором* F соотношением $T_{эф} = (F-1)\,T_0$, где $T_0 = 293°$К. Ш. т. двух соединенных каскадно четырехполюсников $T_{1,2}$ может быть приближенно определена по параметрам отдельных каскадов: $T_{1,2} \approx T_1 + \frac{T_2}{K_{п1}}$. Здесь T_1 — Ш. т. первого каскада, $K_{п1}$ — его коэфф. усиления номин. мощности, T_2 — Ш. т. второго каскада. При большом усилении $K_{п1}$ Ш. т. не зависит от последующих каскадов и целиком определяется Ш. т. первого каскада. Поэтому на входе приемника должны применяться малошумящие *усилители сверхвысокой частоты* со значит. коэфф. усиления. Последующие каскады не будут в этом случае увеличивать Ш. т. приемника, хотя их собств. шумы могут быть велики. Понятие Ш. т. особенно удобно для оценки собств. шумов малошумящих *усилителей сверхвысокой частоты* (*квантовых усилителей*, *параметрических усилителей*). Оно применяется также для оценки приемных систем в целом (с учетом антенны, антенно-фидерного тракта и собственно приемника). Общая Ш. т. приемного устройства T_Σ, пересчитанная к антенне, определяется по ф-ле $T_\Sigma = T_а + T_{тр}\left(\frac{1}{K_{тр}} - 1\right) + \frac{T_{пр}}{K_{тр}}$ где $T_а$ — Ш. т. антенны, $T_{пр}$ — Ш. т. приемника, $T_{тр}$ — физич. темп-ра, при к-рой находится антенно-фидерный тракт, $K_{тр}$ — коэфф. передачи антенно-фидерного тракта. Ш. т. является одним из важнейших параметров приемного устройства, определяющим его *чувствительность*.

Лит.: Крохин В. В., Элементы радиоприемных устройств сверхвысоких частот, М., 1964. Л. Л. Москвитин.

ШУМОВОЕ НАПРЯЖЕНИЕ [noise voltage; tension à caractère de bruit (à caractère aléatoire), tension de bruit; Rauschspannung] — изменяющееся случайным образом напряжение, вызванное беспорядочным тепловым движением электронов в проводниках, неравномерностью вылета электронов из катодов ламп, неодинаковым распределением электронного потока между различными электродами ламп в разные моменты времени, медленными случайными изменениями эмиссионных св-в катодов и т. п. Происхождение термина «Ш. н.» связано с акустич. эффектом в радиоприемниках, обусловленным случайными изменениями напряжения на входе усилит. тракта. Ш. н. на выходе приемников появляется также за счет внешних факторов — атм. и индустриальных помех (на низких радиочастотах), шумового электромагнитного излучения космич. происхождения (на частотах выше 300 *Мгц*), случайного изменения во времени хар-к канала связи и т. д. (см. *Шумы*, *Флуктуации*).

Л. Л. Москвитин.

ШУМОВЫЕ ПРИБОРЫ (noises devices; dispositifs de bruit; Rauschmeßgeräte) — электронные и ионные приборы, используемые в качестве первичных источников шума при генерации напряжения шумов или шумовых токов (см. *Генератор шума*). Ш. п. применяются: 1) в измерит. устройствах в качестве стандартных генераторов шумовых сигналов; 2) в аппаратуре для проведения механич. испытаний элементов (систем) методом ударного возбуждения (*шума белого*); 3) в ЭВМ в качестве *датчиков случайных чисел*.

Физич. природа флуктуаций электрич. тока или напряжения в Ш. п. может быть весьма разнообразной. Она может заключаться в тепловом движении электронов (тепловой шум), дрейфе носителей тока (дробовой эффект), флуктуациях проводимости (избыточный шум) и т. д. Поэтому в качестве Ш. п. могут использоваться различные устройства:

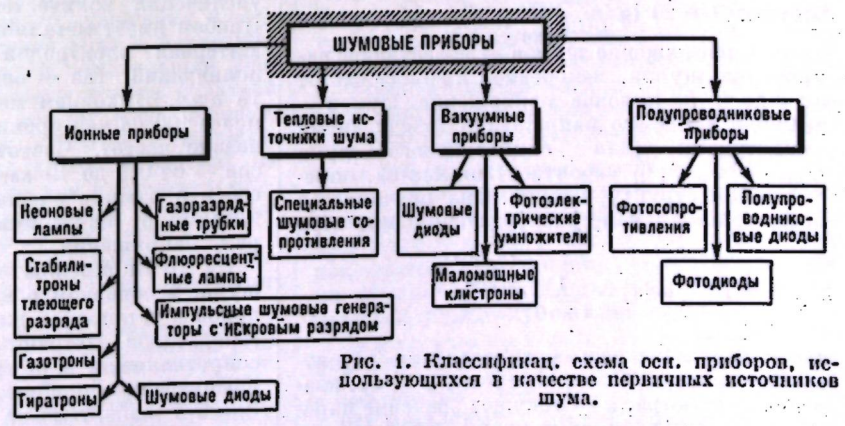


Рис. 1. Классификац. схема осн. приборов, использующихся в качестве первичных источников шума.

ионные приборы, спец. сопротивления, вакуумные приборы, фотоэлектрич. ПП приборы и др. (рис. 1).

Наиболее распространены ионные Ш. п., обладающие высоким уровнем шумов, большой равномерностью спектр. хар-ки, широким

диапазоном частот, удобством в эксплуатации и достаточной надежностью. Ионные Ш. п. способны перекрыть диапазон частот от 10 *гц* до $3 \cdot 10^5$ *Мгц*.

В диапазоне видеочастот в качестве ионных Ш. п. могут применяться неоновые лампы, стабилитроны, нек-рые типы выпрямит. и релейных тиратронов, газотронов, а также специализиров. ионные шумовые диоды. Неоновые лампы и стабилитроны генерируют шумы в диапазоне от неск. десятков *гц* по неск. *Мгц*; напряжение шума на их нагрузке — десятки *мв*. Ш. п. на тиратронах и газотронах обычно работают в поле пост. магнита; величина напряжения шума на нагрузке — неск. единиц *в* в полосе частот до 3—6 *Мгц*. Недостатки тиратронов и газотронов, используемых в качестве первичных источников шума: резкая зависимость параметров лампы от положения магнита, склонность к генерированию регулярных сигналов, большая неравномерность спектр. хар-к. Эти недостатки ограничивают их применение в качестве источников шума.

Из ионных приборов наиболее распространены специализиров. ионные шумовые диоды, помещаемые в поле пост. магнита. Ионный шумовой диод представляет собой пальчиковую газоразрядную лампу, к-рой придан пост. магнит. Катод лампы оксидный, подогревный. Конструкция электродов аксиальная: цилиндрические анод и катод, что обеспечивает независимость параметров лампы от положения магнита. Наполнение — гелий или водород. Осн. параметры и хар-ки ионных шумовых диодов: 1) спектральная хар-ка шумов, определяемая выражением:

$$y = \lim_{\Delta f \to 0} \frac{U_{эф}(f, \Delta f)}{\sqrt{\Delta f}},$$

где $U_{эф}$ — эффективное напряжение шума, f — текущее значение частоты, Δf — полоса частот шума; 2) спектральная плотность шумов (СПШ), представляющая собой значение спектральной хар-ки на к.-л. конкретной частоте; 3) неравномерность спектральной хар-ки шумов (отношение макс. СПШ к минимальной в заданном диапазоне частот): $H = 20 \lg \frac{\text{СПШ}_{макс}}{\text{СПШ}_{мин}}$; 4) эффективное интегр. напряжение шумов — эффективное напряжение шумов, измеренное в полосе частот от 0 до f; 5) пиковое напряжение шумов — значение пикового напряжения между двумя амплитудами (для симметричного шума $U_{2пик} = 2U_{пик}$); 6) вероятностная хар-ка, определяющая структуру шума. Она подчиняется нормальному закону распределения амплитуд

$$\omega(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}G} e^{\frac{(x-a)^2}{2G^2}},$$

где $\omega(x)$ — плотность распределения вероятности амплитуд, G — дисперсия, a — ср. значение параметра, x — текущее значение параметра. Ионные шумовые диоды используются обычно с активной нагрузкой в цепи анода. Однако включение в анодную цепь диода комплексной нагрузки позволяет снизить неравномерность спектр. хар-ки.

Для диапазона СВЧ из ионных Ш. п. используются газоразрядные трубки, флюоресцентные лампы дневного света и импульсные шумовые генераторы с искровым разрядом. Газоразрядные трубки выполняются либо волноводного, либо коаксиального типа. Первые применяются вплоть до миллиметрового диапазона, вторые — в генераторах шума дециметрового диапазона волн (от 10—12 до 150—140 *см*). Газоразрядные трубки наполнены инертным газом под давлением и электрически согласованы с волноводом или коаксиальной линией. Спектральная плотность мощности шумов в рабочем диапазоне $(50-75)kT_0$ вт/гц, k — постоянная Больцмана $1{,}38 \cdot 10^{-23}$ *дж/град*, T_0 — электронная темп-ра газа (порядка 10 000—12 000°К).

Для флюоресцентных ламп дневного света спектральная плотность мощности шумов достигает 15—20 *дб* над уровнем kT_0.

На СВЧ применяют импульсный шумовой генератор с искровым разрядом. Действие генератора основано на использовании частотного спектра импульсов нано- и пикосекундной длительности. Короткие импульсы генерируются разрядом предварительно заряженного отрезка длинной линии через нагрузку. Коммутация сигнала осуществляется с помощью искрового разряда. Подбирая длину линии, можно создать колебания, имеющие равномерный спектр от самых низких частот до частот в десятки тыс. *Мгц*. Прибор представляет собой отрезок коаксиальной линии, имеющий разрыв центр. жилы (рис. 2). Участок *1* выполняет роль зарядной линии. Через зарядное сопротивление $R_{зар}$ подается напряжение питания. Участок *1* отделен от выходной линии *3* искровым промежутком *2*. Выходная линия заканчивается согласующим тр-ром (удлинителем *4*). Он согласует низкий импеданс выходной линии с импедансом стандартного ВЧ разъема (50 *ом*). Импеданс зарядной и выходной линии ~ 3,5 *ом*. Столь малая величина обусловлена необходимостью получения значит. емкости зарядной линии для увеличения количества запасаемой энергии. Прибор имеет металлокерамич. конструкцию. Материал электродов — вольфрам [3], наполняющий газ — водород под давлением 15 *атм*. Выходная мощность в импульсе не менее 100 *дб* над уровнем kT_0 в широком диапазоне частот. Частота следования импульсов — от 0,5 до 10 *кгц*. Генератор работоспособен в режиме внешней синхронизации при питании от источника импульсного или зарядного напряжения.

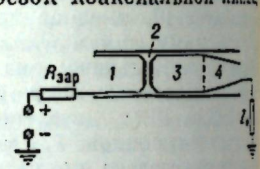


Рис. 2. Схема импульсного шумового генератора с искровым разрядом.

На СВЧ применяются и тепловые источники шума, в основном в качестве первичных эталонов в установках для калибровки шумовых генераторов. Источником шума служат сопротивления, к-рые при темп-ре T отдают во внешнюю цепь мощность шумов: $P_ш = k \cdot T \cdot \Delta f$, Δf — полоса частот, k — постоянная Больцмана. Таким способ получения энергии шума на СВЧ прост, но получаемая спектральная плотность мощности шума мала (порядка $4 \cdot 10^{-15}$ *вт/Мгц*).

Вакуумные приборы также используются как источник шума. Универсальным источником шума может быть шумовой диод. Если он работает в режиме насыщения, то подобен генератору, имеющему бесконечное внутр. сопротивление. В относительно узкой полосе мощность шума пропорциональна квадрату тока

$$i^2_{шд} = 2eI_s \Delta f,$$

где I_s — ток насыщения, текущий через диод и зависящий от темп-ры нити катода. Шумовой ток может изменяться в широких пределах при изменении напряжения накала. НЧ граница для шумового диода определяется фликкер-эффектом в нем и находится в р-не 1000 *гц* для диода с торированным вольфрамовым катодом и еще ниже для диода с чисто вольфрамовым катодом. ВЧ граница определяется влиянием емкости диода, шунтирующей нагрузку и вносящей рассогласование со стороны источника. Она приходится на частоты 300—400 *Мгц*. Коаксиальная конструкция диода расширяет диапазон частот до 1000 *Мгц*. Спектральная плотность мощности шума не превышает 16—20 *дб* над уровнем kT_0.

Фотоэлектронные умножители создают шумовые токи за счет дробового эффекта фототока. Величина напряжения шума достигает десятых долей *мв* в полосе частот от 2—3 *гц* до 6 *Мгц* при более равномерной спектральной хар-ке по сравнению с др. источниками шума.

Отражат. клистроны в режиме отсутствия колебаний могут применяться как источники узкополосного шума в диапазоне СВЧ. Маломощный клистрон трехсантиметрового диапазона при токе 2—3 *ма* и напряжении 1500 *в* дает мощность шумов порядка 10^{-11} *вт* в полосе генерации клистрона.

В диапазоне НЧ в качестве первичного источника шума могут применяться фотоэлектрич. ПП приборы — фотосопротивления и фотодиоды. Фотосопротивления создают шумовое напряжение за счет флуктуации внутр. сопротивления. Величина напряжения шума — единицы *мв* в полосе частот от неск. *гц* до единиц *кгц*. Фотодиоды создают шумовые токи за счет флуктуации носителей тока. Величина напряжения шума — неск. сотен *мкв* в полосе частот от неск. *гц* до единиц *кгц*.

В диапазоне СВЧ в качестве источника шума могут применяться ПП диоды. Шумы в ПП возникают за счет хаотич. движения электронов, «дрейфа» носителей тока и медленных флуктуаций проводимости. Наибольший уровень шумов в ПП наблюдается на обратной ветви вольтамперной хар-ки (при отрицат. напряжении смещения, близком к напряжению пробоя). Уровень шума генератора на ПП диоде намного выше, чем у шумового диода. Подобный генератор шума может работать в диапазоне частот 100—300 *Мгц*.

Принципы построения генераторов шумов и области их применения см. в ст. *Генератор шума*.

Лит.: 1) Тетерич Н. М., Генераторы шума, М.—Л., 1961; 2) Hart P. A. H., Standard noise sources, «Philips Techn. Rev.», 1961/62, v. 2, № 10, p. 293—309; 3) Hunt E. B., George R. H., Factor affecting the microwave spectra of spark—gap impulse generators, «Proc. Nat. Electronics Conf.», 1955, v. 11, p. 379—90.
В. П. Черепанов.

ШУМОПОДОБНЫЙ СИГНАЛ (noise type signal; signal type bruit; geräuschartiges Signal) — сигнал, представляющий реализацию случайного процесса (см. *Вероятностный процесс*). Форма Ш. с. заранее не определена в отличие от детерминированного или квазидетерминированного сигнала, у к-рого форма задана и неизвестными могут быть лишь нек-рые постоянные во времени параметры. Не сложность вида ф-ции, описывающей изменения сигнала во времени, а невозможность предсказания этой ф-ции определяет Ш. с., характеризуемый только в вероятностном смысле.

Ш. с. появляются в системе связи, использующей эффект тропосферного рассеяния, в к-рой передаваемые детерминированные сигналы превращаются вследствие многолучевого распространения в узкополосный случайный процесс. Излучения от радиозвезд или газовых облаков также являются Ш. с.

В последние годы изучаются возможности использования Ш. с. в качестве переносчика информации вместо гармонич. колебания или периодич. последовательности импульсов определ. формы. В этом случае в качестве модулируемого параметра может быть выбрана любая вероятностная хар-ка Ш. с. Модуляция по мощности Ш. с. представляет собой аналогию амплитудной модуляции. Модуляция по положению *спектра энергетического* Ш. с. аналогична частотной модуляции.

Новые возможности в технике связи и радиолокации открывает использование широкополосных Ш. с., представляющих отрезки шума длительностью $\tau_ш$, полоса к-рого много больше величины $1/\tau_ш$. *Корреляционная функция* подобных Ш. с. имеет характерный пик вблизи начала координат и пренебрежимо малые по сравнению с ним уровни боковых максимумов. Другая важная особенность широкополосного Ш. с.— близкая к идеальной т. н. ф-ция неопределенности:

$$c(\tau, \Omega) = \lim_{T \to \infty} \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} E(t+\tau) E^*(t) e^{i\Omega t} dt,$$

где $E(t)$ — комплексная огибающая $\xi(t)$. Идеальной с точки зрения разрешающей способности и точности является ф-ция неопределенности сигнала в виде единственного центрального пика и равномерного тонкого слоя на остальной части плоскости (τ, Ω).

Случайное изменение амплитуды Ш. с. делает его практически мало пригодным для генерации, т. к. режим работы передатчика при этом оказывается весьма неэкономичным. Поэтому разработаны сигналы пост. амплитуды с фазовой манипуляцией ВЧ заполнения, к-рые по виду их временной корреляц. ф-ции и ф-ции неопределенности приближаются к Ш. с. Излучаемый сигнал в этом случае состоит из сомкнутых прямоугольных радиоимпульсов с ВЧ заполнением вида $(-1)^{x_k} \cos \omega_0 t$, где x_k — последовательность чисел, равных нулю или единице. Модулирующий код — закон чередования чисел в последовательности (закон фазовой модуляции), получают методами *алгебры логики*. Такие коды называют бинарными псевдослучайными кодами.

Лит.: Вудворд Ф. М., Теория вероятностей и теория информации с применениями в радиолокации, пер. с англ., М., 1955; Харкевич А. А., Борьба с помехами, М., 1963.
В. Р. Левин.

ШУМФАКТОР, коэффициент шума, фактор шума (noise factor; facteur de bruit; Rauschfaktor),— отношение полной номинальной мощности *шумов* на выходе *четырехполюсника* к той ее части, к-рая обусловлена шумами внутр. проводимости (сопротивления) генератора входного сигнала,

согласованного с рассматриваемым четырехполюсником и находящегося при комнатной темп-ре T_0=293° К; Ш. также определяют как число, показывающее, во сколько раз отношение номинальных мощностей сигнала и шума на входе четырехполюсника больше, чем на его выходе; при этом также предполагается, что шумы на входе создаются внутр. проводимостью (сопротивлением) согласованного генератора при темп-ре T_0=293° К.

Ш. F идеального (нешумящего) четырехполюсника равен единице; для реальных четырехполюсников $F>1$. Ш. часто выражают в децибелах (см. *Логарифмические единицы усиления и ослабления*): $F[дб]=10 \lg F$ [относит. ед.]. Связь Ш. с эффективной *шумовой температурой* $T_{эф}$ дается соотношением $F=1+T_{эф}/T_0$. Ш. двух соединенных каскадно четырехполюсников $F_{1,2}$ зависит от параметров отдельных каскадов: $F_{1,2}\approx F_1+(F_2-1)/K_1$, где F_1 — Ш. 1-го каскада, F_2 — Ш. 2-го каскада, K_1 — коэфф. усиления номинальной мощности 1-го каскада. При значит. усилении 1-го четырехполюсника ($K_1\gg 1$) общий Ш. каскадного включения определяется первым каскадом ($F_{1,2}\approx F_1$) и не зависит от параметров последующих каскадов. Поэтому для уменьшения общего Ш. приемника необходимо на его входе использовать усилит. каскад с малым Ш. и значит. усилением. Шумовые хар-ки последующих каскадов (преобразователя, усилителя промежуточной частоты) в этом случае не будут оказывать заметного влияния на общий Ш. приемника. Ш. является важнейшим параметром приемных устройств диапазона СВЧ, определяющим их *чувствительность*, а следовательно, и дальность радиосвязи.

Лит.: Колосов А. А., Резонансные системы и резонансные усилители, М., 1949; Куликовский А. А., Линейные каскады радиоприемников, М.—Л., 1958. *Л. Л. Москвитин.*

ШУМЫ (noise; bruit; Rauschen) — разновидность случайных *помех*, воздействующих на полезные сигналы и препятствующие правильному приему последних. Обычно Ш. наз. аддитивную (воздействующую путем сложения) естественную помеху. Внутренние (флуктуационные) Ш. возникают в самой аппаратуре и заложены в физ. природе материи. К ним относятся тепловые Ш. в проводниках и дробовые Ш. в вакуумных и ПП приборах, происходящие из-за случайного характера движения электронов (см. *Шум нормальный*, *Флуктуационные процессы в электронных приборах*). Спектральная плотность (мощность на единицу полосы частот) этих Ш. сохраняет пост. величину во всем используемом диапазоне радиочастот (см. *Шум белый*). При определенных условиях начинает проявляться Ш., обусловленный дискретной (фотонной) структурой электромагнитного излучения.

Источники внешних Ш. — атмосфера, Солнце и радиозвезды. Атмосферные Ш. связаны с поглощением энергии радиоволн кислородом и водяными парами, к-рое зависит от частоты. В диапазоне СВЧ резкое возрастание атмосферных Ш. происходит на частотах выше 10 *Гц*. Уровень атмосферных Ш. изменяется в зависимости от концентрации водяных паров (для данной местности и времени года), а также от направления прихода сигнала (вблизи горизонта поглощение значительно больше, чем в зените). Солнце является интенсивным источником Ш.; в миллиметровом диапазоне волн его излучение эквивалентно излучению абсолютно черного тела при темп-ре 6000°К. Спектр солнечного излучения в сильной степени зависит от состояния Солнца. Интенсивность космич. Ш. максимальна в направлении центр. областей нашей Галактики (Млечного пути). С увеличением частоты интенсивность космич. Ш. снижается. Математич. описание Ш. осуществляется методами теории *вероятностных процессов*.

Лит.: Харкевич А. А., Борьба с помехами, М., 1963; Лекции по теории систем связи, под ред. Е. Дж. Багдади, пер. с англ., М., 1964. *Б. Р. Левин.*

ШУМЫ В ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРАХ (noise in electronic devices; bruit dans les appareils éléctroniques; Rauschen in elektronischen Geräten) — беспорядочное отклонение токов в цепях электронных приборов от ср. значений, обусловленное неравномерностью вылета электронов из катода во времени, частичной компенсацией пространств. зарядов положит. ионами и др. причинами. Подробно см. в ст. *Флуктуационные процессы в электронных приборах*. *В. М. Петухов.*

ШУМЫ ТРАНЗИСТОРА (transistor noise; bruit d'un transistor; Transistorrauschen) — см. *Транзистора шумы*.

ЩИТ ДИСПЕТЧЕРСКИЙ (despatcher panel; tableau répartiteur; Dispatcherpult) — вертикальная панель (панели), на к-рой располагаются мнемонич. схемы контролируемых производств. процессов, измерит. приборы и различного рода индикаторы сигнализации, табло устройств автоматич. контроля, иногда также ключи и кнопки дистанц. управления. Поскольку на пр-тиях и произ-вах с большой территорией обмен информацией между объектами контроля и управления и диспетчерским пунктом осуществляется с помощью технич. средств *телемеханики*, на Щ. д. выносятся устройства воспроизведения этих систем (см. *Воспроизведение сигналов* в системах ТУ — ТС и *Выходной прибор телеизмерения*). Часто Щ. д. комплектуется с *пультом диспетчерским*. *В. С. Малов.*

Э

ЭВРИСТИЧЕСКАЯ ПРОГРАММА (heuristic program; programme euristique; Evristik Programm) — см. *Эвристическое программирование*.

ЭВРИСТИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ (heuristic programming; programmation euristique; Evristik Programmierung) — вид программирования, использующий специфич. методы решения задач, для к-рых вообще не существуют или заранее неизвестны строгие критерии выяснения применимости методов. Одно из направлений кибернетики. Эвристика еще не является четко очерченной областью исследования, хотя попытки создать стройную систему эвристики предпринимались еще Р. Декартом и Г. В. Лейбницем. Однако ни «Правила для направления ума» Декарта, ни «Искусство изобретения» Лейбница не были закончены. Позднее вопросами эвристики в разной форме занимались Б. Больцано, Г. Л. Гельмгольц, А. Пуанкаре, Д. Пойа и др.

Интерес к эвристике возрос в 1950—60-х гг., когда особенно актуальным стал вопрос о преодолении разрыва между способностями живых существ к решению сложных задач и огранич. возможностями кибернетич. моделей.

Совр. эвристика стремится постичь процесс решения проблем и, в частности, тех операций мозга, к-рые чаще всего оказываются полезными в этом процессе. Эвристика строится на основе наблюдений за тем, как живые существа, и в первую очередь человек, решают задачи, какие общие закономерности наблюдаются при этом в решении любой проблемы независимо от ее содержания.

Эвристика ничего не говорит о методах постановки задач. Предполагается, что задача поставлена, т. е. интуитивные требования заменены четко сформулированными вопросами. Предполагается, далее, что существует тест (проверка), к-рый можно применить к предполагаемому решению. В случае, когда предполагаемое решение действительно является решением, тест должен обнаружить это за конечное число шагов.

Все задачи можно разбить на два класса. В первый класс ($\mathfrak{A}$) входят задачи, решение к-рых может быть получено с помощью известных алгоритмов, исключающих полный перебор. В этом классе следует выделить подкласс задач (A), решение к-рых трудно или невозможно получить при нынешнем состоянии техники. Второй класс ($\mathfrak{B}$) объединяет в себе задачи, алгоритмы решения к-рых неизвестны. Любая случайная последовательность, если она достаточно длинна, содержит решения всех задач. Тривиальным алгоритмом получения решения задачи из класса ($\mathfrak{B}$) были бы перебор элементов случайной последовательности и извлечение из нее тех элементов, к-рые являются решениями в указанном выше смысле. Ясно, что для интересных задач, как правило, о полном переборе не может быть и речи. Однако всегда существует множество факторов, к-рое помогает живым существам обходиться без полного перебора. Часто эти факторы наз. эвристиками. Методы, использующие эвристики для сокращения поиска решения, не гарантируя при этом его нахождения, наз. эвристическими методами. Их целесообразно применять для решения задач из класса ($\mathfrak{B}$) и подкласса (A).

Пусть имеется нек-рое множество P, содержащее подмножество решений (ответов) R. На множестве P задаются посылки задачи и определяется класс допустимых преобразований одного элемента из P в другой. Требуется построить последовательность $(p_1, p_2, \ldots, r_i)\in P$, ведущую от посылок к решению $r_i\in R$. Полный перебор при поиске решения предполагает составление и проверку всех возможных последовательностей, оканчивающихся в подмножестве R. Для сокращения перебора в каждой конкретной задаче или классе задач используются свои эвристич. методы. Однако известно несколько методов, имеющих достаточно большую область применения. Один из них, напр., заключается в следующем. Ищется нек-рое множество P'; его элементы приводятся в соответствие с элементами множества P таким образом, чтобы можно было распознать элементы $r'_i\in R'\subset P'$, соответствующие элементам $r_i\in R\subset P$. Тогда в P' находится решение $r'_i\in R'$ и делается обратное отображение R' на R, где отыскивается элемент r_i, соответствующий r'_i и являющийся решением в P. Применение метода имеет смысл тогда, когда время на переход от P к P', поиск решения в P' и обратный переход от $r'\in R'$ к $r\in R$ меньше времени, затрачиваемого на поиск решения в P. Др. метод основан на использовании прошлого опыта для исключения из рассмотрения тех подмножеств множества P, попадание в к-рые вряд ли содействует получению решения.

ЦВМ дали толчок развитию эвристики и стали причиной возникновения Э. п. Теория Э. п. впервые была развита в работах А. Ньюэлла, Дж. Шоу, Х. Саймона и И. Минского (США). Ньюэлл исходил из предположения, что основу мышления составляют «элементарные информационные процессы», организованные в сложную структуру. Такая структура имеет иерархич. строение и обеспечивает порядок выполнения «элементарных информационных процессов» (программ) на каждом уровне и соподчинение программ различных уровней.

Ньюэллом совм. с Шоу и Саймоном была разработана программа, названная GPS (General Problem Solver), объединившая в себе два очень общих эвристич. метода: анализ целей и средств для их достижения и метод планирования. Эта программа имела основополагающее значение для появившихся позднее эвристич. программ разных авторов. Постановка задачи о решении проблем в GPS такова.

Задается описание настоящей и желаемой ситуаций на т. н. языке состояний. На этом же языке описываются различия между парами ситуаций. Сами описания наз. объектами. Далее, на т. н. операционном языке задается список операторов, к-рые могут быть применены к объектам для образования новых объектов. Любая последовательность операторов определяется как составной оператор. Тогда решением проблемы будет такой составной оператор, к-рый преобразует объект, описывающий данную ситуацию, в объект, описывающий желаемую ситуацию. Множество, состоящее из объектов, различий и операторов, наз. пространством задачи.

Считается, что в ходе решения такого класса задач могут встретиться цели трех типов: 1) найти путь преобразования одного объекта в другой; 2) применить нек-рый оператор к одному из объектов; 3) уменьшить различие между двумя объектами. Для достижения этих целей используются четыре метода. Для цели типа 1: «Преобразовать объект a в объект b», применяется метод 1 (схема 1). Он заключается в сличении двух объектов a и b, в определении различия d между ними (если различия нет, то задача решена), в постановке цели типа 3 для уменьшения d; если это удается сделать, то появляется объект c и вновь ставится цель 1 для преобразования c в b. Если и эта задача выполнена, то первоначальная цель достигнута. Для цели типа 2: «Уменьшить различие d между объектами a и b», используется метод 2 (схема 2). В данном случае ищется оператор, пригодный для уменьшения различия d. Если он найден, то задача сводится к цели типа 3: «Применить оператор q к объекту a» (схема 3). Для этого используется метод 3. Может оказаться, что к данному объекту a нельзя непосредственно применить оператор q. Тогда выбирается такой объект $c(q)$, к к-рому можно применить q и к-рый можно получить из объекта a. Если эта операция проведена успешно, то применение q к $c(q)$ дает в общем случае $P(q)$, после чего $P(q)$ преобразуется в c. Описанные три метода объединяются под общим названием «Анализ целей и средств для их достижения».

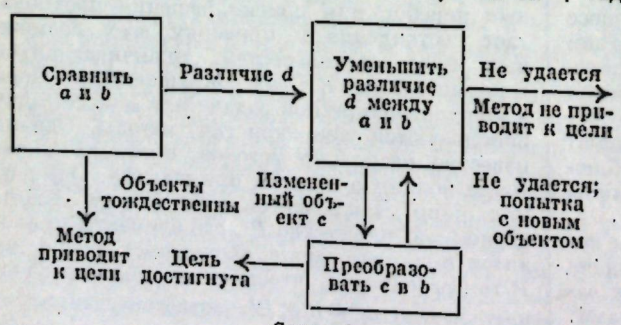


Схема 1.

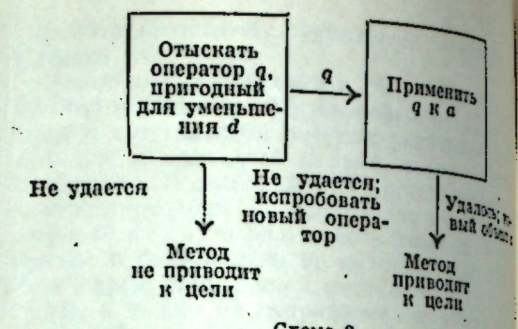


Схема 2.

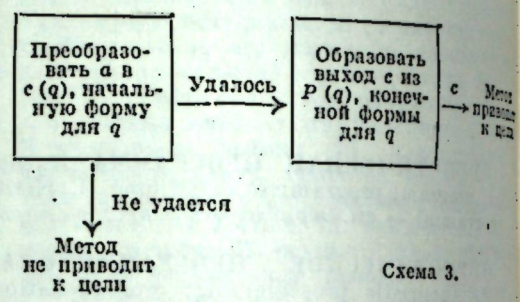


Схема 3.

Для цели типа 1 был разработан еще один метод (метод планирования), к-рый позволяет строить решение сначала в общих чертах, а затем переходить к деталям. Для этого (схема 4): 1) отбрасываются нек-рые детали первоначальных объектов и операторов (абстрагирование); 2) ставится соответствующая задача в абстрактном пространстве задачи; 3) используется решение задачи в абстрактном пространстве для выработки плана решения первоначальной проблемы; 4) этот план переводится в первоначальное пространство задачи и производится попытка его реализации.

Авторы GPS использовали эвристич. методы для решения задач математич. логики и доказательства тригонометрич. тождеств. Созданная несколько ранее Ньюэллом и др. программа «Логический теоретик», к-рая явилась непосредственным предшественником GPS, использовалась Дж. Слэглом в несколько измененном варианте для решения задач интегрального исчисления. С помощью этой программы, получившей название SAINT, удавалось брать как неопределенные, так и определенные интегралы, подынтегральные выражения к-рых представляют собой элементарные ф-ции действительных переменных. Большой интерес представляют также работы Х. Гелернтера в области создания эвристической программы для доказательства теорем геометрии. Его программа моделирует три вычислительные машины (ВМ): синтаксическую, диаграммную и эвристическую. Синтаксическая ВМ производит действия над формальной системой геометрии, диаграммная — содержит чертеж доказываемой теоремы и способы измерений по чертежу. Наконец, эвристическая ВМ сравнивает последовательности выражений, генерируемых синтаксической ВМ, с их интерпретацией в диаграммной ВМ и отбрасывает те из них, к-рые не подтверждаются чертежом. Кроме того, эвристическая ВМ организует процесс поиска решения и распознает синтаксич. симметрии нек-рых классов последовательностей. Интересно отметить, что с помощью этой программы были получены доказательства, явившиеся неожиданными и оригинальными с точки зрения математиков.

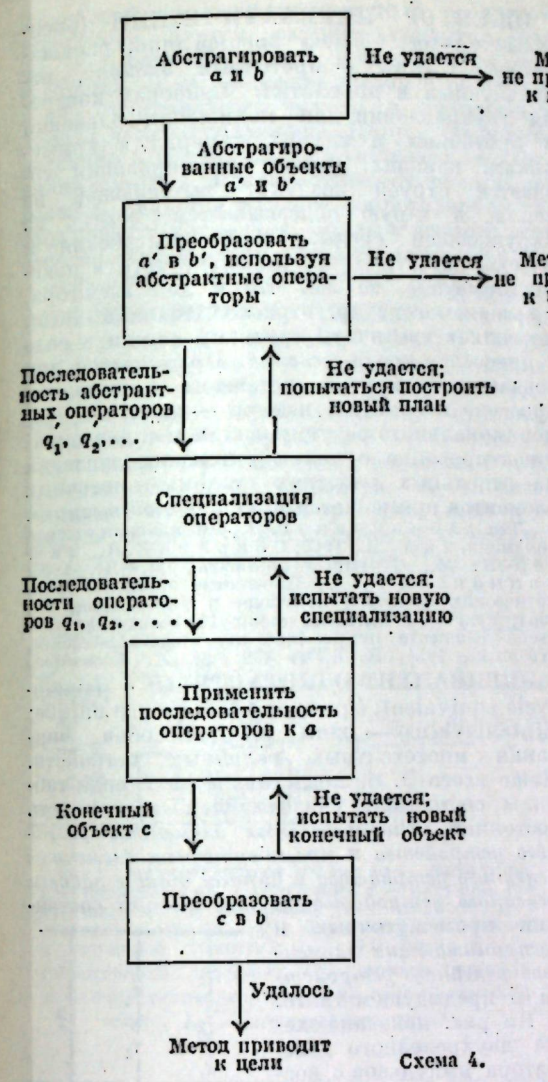


Схема 4.

Э. п. находит применение и обогащается методами при решении игровых задач. А. М. Тьюринг, Дж. Кистер, А. Бернштейн, Ньюэлл и др. создали для игры в шахматы ряд программ, но они либо слишком слабы по сравнению с человеком, либо еще находятся в стадии доработки. Интересная программа была создана А. Л. Самюэлом для игры в шашки. Вначале это была сравнительно слабенькая программа, к-рую удавалось обыгрывать даже человеку, сыгравшему предварительно всего двадцать партий. Однако с помощью эвристич. методов обучения удалось настолько повысить способности программы, что в настоящее время она нередко обыгрывает чемпиона США.

Э. п. успешно применяется для решения экономич. и производств. задач. Составлена программа, имитирующая работу служащего банка, к-рый дает советы о наиболее целесообразном помещении капитала в различные предприятия. Решение задачи зависит от многих параметров, в т. ч. от возраста вкладчика, его семейного положения, возможности длительно ожидать прибыли, экономич. состояния различных предприятий и т. д. Программа представляет собой дерево, узлы к-рого — вопросы, а ответы используются для отсечения ветвей и определяют характер новых вопросов.

Ф. М. Тангом предложена эвристич. программа для балансирования сборочного конвейера. Каждому рабочему месту вдоль конвейера отведены элементарные операции по сборке. Каждая элементарная операция, в свою очередь, характеризуется длительностью и порядком ее выполнения по отношению к др. операциям. Задача балансирования ставится следующим образом: задана норма производительности; определить миним. число рабочих мест (операторов) при ограничениях на время и порядок операций по сборке. Балансирование считается оптимальным, если: 1) одна элементарная операция относится к одному и только одному рабочему месту; 2) суммарное время на все элементарные операции, отнесенные к одному рабочему месту, не превосходит нек-рого максимума (цикла); 3) сформированные рабочие места так расположены вдоль конвейера, что допустимый порядок выполнения элементарных операций не нарушается; 4) число рабочих мест при всех вышеприведенных условиях минимально. Попытки решать эту задачу методами линейного и динамического программирования наталкивались на такие вычислит. трудности, к-рые делали нереальным ее решение в приемлемые сроки.

Предложенный Тангом метод объединяет в себе две рекурсивные программы. На первой фазе строится иерархия (по сложности) более простых задач балансирования конвейера путем многократного объединения групп элементов, обозначающих элементарные операции, в единый объединенный элемент. На второй фазе решается упрощенная задача балансирования конвейера путем последовательного выделения рабочих для каждого узла получившегося дерева, начиная с вершины. Затем в качестве подзадачи для балансирования выбираются те элементы, к-рым выделено более одного рабочего. Такая процедура повторяется до тех пор, пока каждому рабочему месту не будет соответствовать один рабочий. Когда объединенные элементы (узлы дерева) требуют большего числа людей, чем это возможно, то такие элементы разбиваются на составляющие и перегруппировываются с соблюдением порядка выполнения операции. Процедура повторяется до тех пор, пока ограничение на максимальное число людей не будет удовлетворено. Эти две фазы моделировались на ВМ, и результат использовался для проведения третьей фазы, выполнявшейся вручную: «сглаживания» рабочей нагрузки на каждое рабочее место. Другими словами, решалась задача о таком перераспределении

операций между рабочими местами, чтобы суммарное время работы для одного из них как можно меньше отличалось от другого. Эвристическая программа балансирования сборочного конвейера была проверена на ряде задач различной сложности и дала хорошие результаты.

Э. п. может найти применение для решения задач диспетчеризации, моделирования инженерной деятельности и т. п. Однако такие программы носят сугубо специфич. характер и требуют для своего создания большой и трудоемкой работы по наблюдению за объектами для моделирования. В связи с этим сейчас наблюдается повышенный интерес к обучающимся программам, способным решать широкий класс задач. Специализация же программы производится путем ее доучивания на конкретной интересующей исследователя среде. В частности, возможно создание эвристич. программы для выбора отображения при распознавании образов. В этом случае обучение программы на конкретной среде позволяет ей формировать отображение, в нек-ром смысле близкое к оптимальному для данной среды.

Интерес к обучающимся эвристическим программам велик еще и потому, что в них в результате обучения должны формироваться новые эвристики, а это уже приближает такие программы к эволюционирующим системам. Такого рода программы еще не вышли из стадии теоретического обсуждения, и предстоит большая работа по их реализации.

Задачи, встающие перед эвристикой, не имеют строгого математич. описания. Поэтому для составления эвристич. программ и ввода их в ВМ потребовалось создание спец. языков. Разработан ряд таких языков, пригодных для записи задач эвристики. Таковы, например, языки IPL, LISP, FLPL. Эти языки имеют древовидную структуру. Они организуют память вычислительных машин так, что она принимает вид списков. Каждая ячейка списка содержит 2 вида информаций: символ, который необходимо запомнить, и адрес ячейки памяти, содержащей следующий символ списка. Чтобы попасть к любому символу списка, надо знать лишь его начало. Языки для эвристич. программ включают программы для работы со списками. Пример такого языка разобран в статье *Язык ИПЛ*.

Лит.: 1) Автоматы. Сб. ст. под ред. К. Э. Шеннона и Дж. Маккарти, пер. с англ., М., 1956; 2) Пойа Д., Как решать задачу, пер. с англ., 2 изд., М., 1961; 3) Самоорганизующиеся системы. [Сб. докладов], пер. с англ., М., 1964; 4) Gelernter H., Realization of a geometry theorem proving machine. Proc. of the Internationale conference. UNESCO, P., 1959; 5) Green B. F., Computer languages for symbol manipulation, «IRE Trans. Human Eactors Electronics», 1961, v. HFE-2, № 1; 6) Newell A., Shaw J. C., Simon H. A., Chess-playing programs and problem of complexity, «IBM J. Res. and Develop.», 1958, v. 2, № 4; 7) их же, A general problem-solving program for a computer, «Computers and Automat.», 1959, v. 8, № 7; 8) Newell A., Tonge F. M., An introduction to Information Processing Language V, «Commun. of the ACM» 1960, v. 3, № 4; 9) Samuel A. L., Some studies in machine learning using game of checkers, «IBM J. Res. and Develop.», 1959, v. 3, № 3; 10) Slagle J. R., A heuristic program that solves symbolic integration problems in freshman calculus, «J. Assos. Comput. Machinery», 1963, v. 10, № 4; 11) Tonge F. M., Summary of a heuristic line balancing procedure, «J. Mgmt. Sci.», 1960, v. 7, № 1.

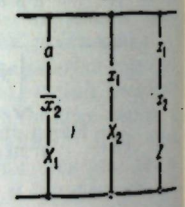
Л. И. Микулич.

ЭЖЕКТОР ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ (pneumatic ejector; éjecteur pneumatique; pneumatischer Ejektor) — проточный элемент, используемый в пневматич. приборах контроля и управления для понижения давлений в проточных и глухих камерах, в коммутац. каналах. Эффект эжектирования создается струей воздуха, вытекающей из сопла, в к-рую подсасывается воздух из окружающей среды. Схемы построения и методы расчета Э. п., используемого в пневмоавтоматике, те же, что и для эжектора, применяемого в др. отраслях техники. Э. п. позволяет увеличить крутизну хар-ки в реле с дросселем *сопло-заслонка*. Применяется для создания надкритич. истечения в выходном дросселе пневматич. камеры — элемента пропорционального редуцирования абс. давлений. Эжектирование с целью снижения давлений на отдельных участках системы проточных элементов применяется и в *струйной технике*.

Лит.: Абрамович Г. Н., Прикладная газовая динамика, 2 изд., М., 1953; Соколов Е. Я., Зингер Н. М., Струйные аппараты, М.—Л., 1960; Залманзон Л. А., Проточные элементы пневматических приборов контроля и управления, М., 1961; Ferner V., Neue pneumatische bzw. hydraulische Elemente in der Meß- und Regelungstechnik, «Technik», 1954, H. 6, S. 359.

Л. А. Залманзон.

ЭКВИВАЛЕНТ ОДНОТАКТНЫЙ (single-cycle equivalent; équivalent à séquence unique; Eintaktzyklus) — один из способов описания многотактных релейных устройств. Чаще всего Э. о. представляется в виде таблицы состояний, указывающей зависимость состояний *исполнительных элементов релейного устройства* и *промежуточных элементов релейного устройства* в данном *такте работы релейного устройства* от комбинации состояний промежуточных и *воспринимающих элементов релейного устройства* в предыдущем такте.



На рис. показана схема двухрелейного генератора импульсов с воспринимающим элементом *a*, промежуточными элементами X_1 и X_2 и исполнит. элементом *z*. Э. о. этого релейного устройства представлен таблице.

a	x_1	x_2	X_1	X_2	Z
0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	0	0
0	1	0	0	1	0
0	1	1	0	1	1
1	0	0	1	0	0
1	0	1	0	0	0
1	1	0	1	1	1
1	1	1	0	1	1

Понятие Э. о. используется при *релейных устройств анализе*; получение Э. о. является одним из этапов *синтеза релейных устройств*.

П. П. Пархоменко.

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ НАГРУЗКА (equivalent load; charge équivalente; äquivalente Belastung) — нагрузка, характер и величина электрич. сопротивления к-рой полностью заменяет для источника энергии реальную нагрузку. Нагрузка считается эквивалентной всегда по отношению к выходным клеммам эквивалентного генератора. Напр., если генератор соединен с нагрузочным сопротивлением $Z_н$ не непосредственно, а через произвольный *четырехполюсник*, то Э. н. такого генератора явится входное сопротивление $Z_{вх}$ четырехполюсника. Иногда, если это требуется, Э. н. включает в себя и сопротивление, учитывающее потери в подводящих линиях четырехполюсника. Напр., для многокаскадного усилителя Э. н. каждого каскада, включаемого в эквивалентную схему при его расчете, является входное сопротивление последующего каскада с полным учетом всех относящихся к этому случаю потерь энергии.

Лит. см. при ст. *Эквивалентная схема*.

А. П. Шпаков.

ЭКВИВАЛЕНТНАЯ СХЕМА, схема замещения (equivalent circuit; circuit équivalent; äquivalente Schaltung),— схема, составленная из простых элементов электрич. цепи, наглядно представляющая сущность процессов в замещаемой (реальной) схеме и применяемая при анализе процессов и при расчетах электрич. устройств. Э. с. часто учитывает такие параметры реального устройства, к-рые в обычной схеме не отражаются. Так, в Э. с. генератора (рис. 1,*а*) введено

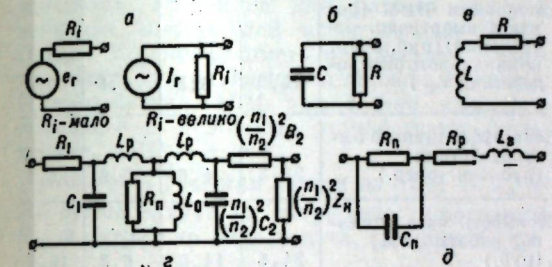


Рис. 1. Эквивалентные схемы: *а* — генератора; *б* — конденсатора с потерями; *в* — катушки индуктивности с потерями; *г* — входной цепи трансформатора (n_1, n_2 — число витков первичной и вторичной обмоток); *д* — ПП диода ($R_п$ — сопротивление перехода, $C_п$ — емкость перехода, $R_р$ — сопротивление растекания тока вблизи контакта, $L_в$ — индуктивность ввода).

его внутр. сопротивление R_i, для конденсатора и катушки индуктивности (рис. 1,*б*, *в*) — сопротивление, учитывающее потери в диэлектрике и проводах обмотки; для тр-ра (рис. 1,*г*) — сопротивления и емкости обмоток R_1, R_2, C_1 и C_2, индуктивности, учитывающие магнитный поток L_0 в сердечнике и его рассеяние $L_р$, а также сопротивление $R_п$, определяющее потери в стальном сердечнике; для ПП диода (рис. 1,*д*) — емкость и сопротивление перехода, индуктивность ввода и т. д. Применение Э. с. значительно облегчает процесс расчета. Напр., для схем, содержащих электронную лампу, Э. с. составляется по цепям каждого из электродов, отдельно по пост. и перем. току. Анодная цепь лампы по пост. току при расчете заменяется цепочкой из двух последовательно соединенных сопротивлений — нагрузочного сопротивления $R_а$ и сопротивления по пост. току участка анод—катод лампы $R_р = U_а/I_а$ (рис. 2,*а*). По перем. току анодная цепь лампы заменяется эквивалентным генератором напряжения с внутр. сопротивлением R_i и эдс $e = \mu U_с$ (где μ — коэфф. усиления лампы, R_i — ее внутр. сопротивление, а $U_с$ — амплитуда напряжения на управляющей сетке) либо эквивалентным генератором тока $i = SU_с$, где S — крутизна лампы (рис. 2, *б*). Обе эти Э. с. равноценны. Входная цепь лампы эквивалентна простой RC цепи (рис. 2,*в*), в к-рой учитываются: входное сопротивление участка сетка — катод лампы; сопротивление,

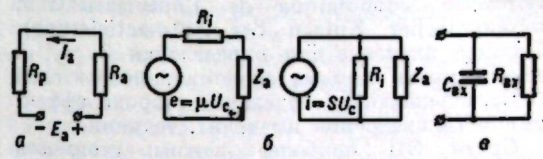


Рис. 2. Эквивалентные схемы электронной лампы: *а* — по анодной цепи для пост. тока; *б* — по анодной цепи для перем. тока; *в* — по цепи управляющей сети.

обусловленное протеканием сеточного тока, утечкой вводов; емкость между электродами. Э. с. усилит. каскада на сопротивлениях (рис. 3, *а* и *б*) учитывает как параметры самой

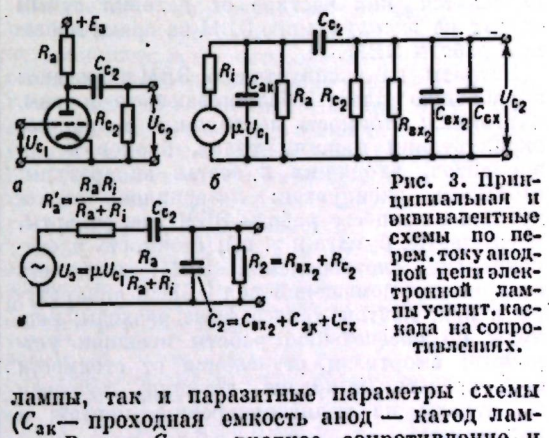


Рис. 3. Принципиальная и эквивалентные схемы по перем. току анодной цепи электронной лампы усилит. каскада на сопротивлениях.

лампы, так и паразитные параметры схемы ($C_{ак}$ — проходная емкость анод — катод лампы, $R_{вх_2}$ и $C_{вх_2}$ — входное сопротивление и входная емкость лампы последующего каскада, $C_{сх}$ — емкость монтажа). Для удобства расчета Э. с. всегда упрощается до предела путем пересчета параллельно и последовательно соединенных элементов (рис. 3,*в*).

При анализе сложных электрич. систем их часто сводят к эквивалентным *четырехполюсникам*, проводя расчет при помощи хорошо разработанных для них методов. Напр., в технике СВЧ метод Э. с. применяется для расчета различных видов неоднородностей в линиях передач — штырей, диафрагм, изгибов, скруток, разветвлений линий, излучающих щелей и т. д. Строгий электродинамич. анализ таких неоднородностей часто бывает невозможен или весьма трудоемок. При данном же методе расчета участок линии, содержащий неоднородность, замещается эквивалентным четырехполюсником, включенным в однородную линию. Параметры такого четырехполюсника могут быть измерены экспериментально. При отсутствии потерь энергии Э. с. содержит лишь реактивные элементы, к-рые включены в виде реактивных сопротивлений и проводимостей в Т-образной, П-образной и др. видах Э. с. Широко применяются Э. с. в виде идеального тр-ра и двух отрезков линии. При расчете методом Э. с. часто пользуются приемами матричного исчисления, особенно при анализе сложных схем многополюсников.

Лит.: Нейман Л. Р., Калантаров П. Л., Теоретические основы электротехники, 5 изд., ч. 1—3, М.—Л., 1959; Бонч-Бруевич А. М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, 4 изд., М., 1956; Справочник по волноводам, пер. с англ., М., 1952.

А. П. Шпаков.

ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ вычислительных работ (economic efficiency of automation; efficacité économique de l'automatisation; ökonomischer Nutzen der Automatisierung). Важное значение для определения Э. э. а. может иметь система экономич. показателей (ЭП), отражающих отдельные стороны эффективности внедрения вычислит. техники.

Среди ЭП наиболее важны: стоимость часа работы ЭВМ, цена эффективного быстродействия, стоимость разработки программы и решения задачи. В числе прочих факторов на величину ЭП влияют правильность выбора типа ЭВМ и режима ее эксплуатации, а также организац. формы и технология разработки программ и решения задач.

Стоимость часа работы ЭВМ, или стоимость единицы времени полезной работы ЭВМ, определяется как частное от деления суммы затрат на эксплуатацию ЭВМ на время полезной работы ЭВМ.

Затраты на эксплуатацию ЭВМ включают: заработную плату обслуживающего и адм. персонала; стоимость заменяемых в процессе эксплуатации машины узлов, блоков и др. элементов, входящих в состав аппаратуры; стоимость эксплуатац. материалов, расходуемых в процессе работы ЭВМ (перфокарты, перфоленты, бумага и т. п.); стоимость электроэнергии, потребляемой ЭВМ; стоимость содержания помещений под ЭВМ и аппаратуру к ней; почтово-телеграфные расходы; расходы по обеспечению работы внешних устройств; амортизац. отчисления от стоимости осн. средств (вычислит. техники), включая и затраты на транспортировку, монтаж и наладку.

Стоимость часа полезной работы ЭВМ — обобщенный показатель, отражающий экономич. сторону выбранного типа ЭВМ и системы эксплуатации машины. Она зависит от организации работ по эксплуатации машины, от типа машины и объема наработки полезного времени. Показатель стоимости часа используется при выборе ЭВМ, при технико-экономич. анализе их работы, при определении стоимости отладки и решения задачи, при сравнит. оценках стоимости надежности и цены отказа ЭВМ.

Стоимость надежности — сумма денежных средств, израсходованных в процессе проектирования, создания (изготовления) и испытаний ЭВМ в целях повышения меры надежности (понижение интенсивности отказов). Повышение меры надежности обусловливает снижение расходов на работы по уходу за аппаратурой как при профилактиках, так и в режиме нормальной работы, проводимых в процессе эксплуатации ЭВМ в целях понижения интенсивности внезапных отказов [6,7].

Цена отказа — стоимостное выражение мероприятий, проводимых с целью снижения ненадежности ЭЦМ в процессе ее эксплуатации, а также прямых и косвенных потерь, возникающих вследствие неисправной работы ЭВМ. Цена отказа, напр., может включать затраты на уход за аппаратурой, на замену деталей и блоков, на дублирование системы с целью снижения ненадежности ЭВМ, а также стоимость простоя (по технич. причинам) и стоимость ликвидации последствий, возникающих из-за ненадежной работы установки в результате неправильного или несвоевременного решения задачи или простоя из-за неисправностей. Стоимость часа работы ЭВМ не раскрывает, однако, экономич. стороны осн. технич. параметры машины.

Экономические показатели эксплуатации некоторых ЭВМ

Характеристики \ Тип ЭВМ	«Стрела»	БЭСМ-2	«Раз-дан-2»	…
Уровень капитальных затрат на единицу мощности ЭВМ (руб./опер. номинального быстродействия $V_н$)	160,0	19,0	30,0	…
Удельные капитальные вложения (руб./млн. опер. эффективного быстродействия $V_{эф}$)	13,6	1,6	2,5	…
Уровень эксплуатац. расходов на единицу мощности ЭВМ (без учета амортизац. отчислений) (руб./опер. номинального быстродействия $V_н$)	43,0	6,5	4,5	…
Цена эффективного быстродействия (руб/млн. опер.)	28,8	4,0	3,6	…
Стоимость часа полезной работы ЭВМ (руб.)	24,5	14,0	6,3	…

Универсальным экономич. показателем, учитывающим технич. параметры ЭВМ, характер решаемых задач, величину стоимости машины и ее эксплуатац. расходов, является цена эффективного быстродействия. Она характеризует, во что обходится выполнение одной полезной операции на ЭВМ, позволяет сравнивать эффективность использования машин различных типов в различных организациях для решения различных классов задачи и позволяет оценивать экономич. целесообразность применения ЭВМ.

Цена эффективного быстродействия, или стоимость выполнения одной операции, подсчитывается по ф-ле:

$$Ц_{V_{эф}} = \frac{\sum_{j=1}^{m} R_j}{TV_{эф}},$$

где R_j — сумма капит. затрат и эксплуатац. расходов, относящихся к времени $T_{эк}$; T — время эксплуатации и $V_{эф}$ — эффективное быстродействие машины. При трехсменной эксплуатации ЭВМ в течение 5 лет

$$Ц_{V_{эф}} = \frac{\sum_{i=1}^{m} R_j}{1{,}5 \cdot 10^8 V_{эф}}$$ ($1{,}5 \cdot 10^8$ — примерное количество сек. в пяти годах).

На практике обычно пользуются показателем стоимости млн. полезных операций (т. е. $Ц_{V_{эф}}$ выражается как руб./млн. операций) для сравнения между собой экономич. показателей использования различных ЭВМ в различных организациях при одинаковых классах решаемых задач, а также для сравнения экономич. показателей решения задачи

на ЭВМ др. способами. Если T задается в часах, а R_j — в руб., то стоимость млн. операций

$$Ц_{млн.\,опер.} = 278 \frac{\sum_{j=1}^{m} R_j}{TV_{эф}} \frac{руб}{млн.\,опер.}$$

(278 — коэфф., учитывающий несовпадение размерностей $TV_{эф}$ и $Ц_{млн/опер.}$).

Эффективное быстродействие $V_{эф}$ — реальная производительность ЭВМ при решении определ. класса задач и представляет собой эквивалентную скорость выполнения вычислит. операций, при к-рой время решения задач было бы таким же, как при реальном процессе решения, когда, помимо вычислит. операций, выполняемых с использованием оперативных ЗУ, производится ввод, вывод, поиск информации во внешнем накопителе, и машина выполняет работу с определенным коэфф. исправной работы $k_п$.

Эффективное быстродействие является вспомогат. величиной для расчета нек-рых экономич. показателей использования ЭВМ. Однако $V_{эф}$ может иметь и самостоят. значение, напр. для определения снижения номин. быстродействия ЭВМ при работе машины в комплексе с дополнит. устройствами (телетайпом, АВМ и т. п.).

Стоимость решения задачи на ЭВМ — $C_з^м$ — это сумма затрат на разработку программы $C_{пр}$ и затрат на непосредств. решение $C_{реш}$:

$$C_з^м = C_{пр} + C_{реш}.$$

Величина затрат на разработку программы зависит от квалификации программиста, трудоемкости работ, расхода машинного времени на отладку, стоимости единицы (часа) машинного времени, процента накладных расходов, начисляемых на зарплату программистов. На трудоемкость разработки программы и величину расхода машинного времени на отладку программы, в свою очередь, влияют степень *автоматизации программирования*, степень использования стандартных и готовых программ, наличие опыта у программиста, система организации труда программистов, степень разработанности и совершенства алгоритма, класс сложности задачи и т. п.

Величина стоимости решения задачи зависит от расхода машинного времени, стоимости машино-часа, трудоемкости работ при подготовке и в ходе решения задачи на ЭВМ и др. Она характеризует эффективность машинного решения по сравнению с др. способами. Среди прочих факторов осн. показателем, определяющим выигрыш в стоимости решения задачи при использовании ЭВМ, является количество решаемых вариантов.

В качестве исходных данных для расчета экономич. хар-к использования ЭВМ берут ряд натуральных показателей. К их числу можно отнести, напр.: ср. значение трудоемкости разработки программы и решения задачи; сроки разработки программы; ср. значения машинного времени отладки программ по классификационным группам и решения задач; ср. значение соотношения трудоемкости, затрачиваемой на решение, и машинного времени для решения задачи по классификац. группам; ср. значение машинного времени отладки программ по классификац. группам и решения задач; ср. количество команд в программе стандартных подпрограмм по группам и др.

Установление определ. величин натуральных показателей, необходимых, напр., для планирования, возможно гл. обр. при наличии большого опыта разработки программ и решения задач, т. е. статистич. данных за предшествующие периоды. Путем обработки статистич. данных (для определ. классов задач и условий разработки программы) могут быть получены ср. значения и доверительные границы этих значений. Они должны рассматриваться в качестве случайных величин, т. к. исследуемые процессы характеризуются сложностью и зависимостью от многих субъективных и объективных факторов.

Описанные экономические и натуральные показатели могут быть применены: при оценке экономической целесообразности решения отдельных задач на ЭВМ; при выборе наиболее производит. и экономичного типа ЭВМ; при анализе экономич. эффективности использования однотипных ЭВМ; при распространении передового опыта работы, передовой технологии и т. д.; при обосновании необходимого количества программистов.

Лит.: 1) Кузнецов И. Н., Экономическая эффективность применения счетно-вычислительных машин, М., 1961; 2) Базилевский Ю. Я., Шрейдер Ю. А., Методы оценки производительности универсальных цифровых машин с программным управлением, в сб.: Вопросы теории математических машин, сб. 1, М., 1958; 3) Глушков В. М., Два универсальных критерия эффективности вычислительных машин, «ДАН УССР», 1960, № 4; 4) его же, Синтез цифровых автоматов, М., 1962; 5) Китов А. И., Криницкий Н. А., Электронные цифровые машины и программирование, 2 изд., М., 1961; 6) Месяцев П. П., Введение в теорию проектирования и производства радио-аппаратуры, М., 1961; 7) Вопросы надежности радиоэлектронной аппаратуры. Сб. ст., под ред. И. И. Морозова, М., 1959; 8) Абрамов С. А., Поляков П. Д., Планирование сложных комплексов работ, «Плановое хозяйство», 1964, № 10; 9) Brandon Dick H., The computer personnel revolution, «Computers and Automat.», 1964, v. 13, № 8, p. 22—25.

С. А. Абрамов.

ЭКОНОМИЯ РАБОЧИХ ЯЧЕЕК (operating units spairing; économie des cellules de mémoire; Sparung der Arbeitszellen) — мероприятие, выполняемое при программировании и преследующее цель уменьшения количества ячеек оперативного ЗУ (ОЗУ), используемых при решении задачи на ЭВМ. В конечном счете Э. р. я. оперативного ЗУ производится для того, чтобы, по возможности, исключить обращение к менее быстродействующему внешнему ЗУ (ВЗУ). Этим достигается экономия машинного времени и, следовательно, уменьшение стоимости решения задачи.

Сущность Э. р. я. заключается в том, что: а) решающий алгоритм разрабатывается т. о., чтобы уменьшить связность будущей программы, и б) при программировании ячейки памяти, отведенные для хранения к.-л. промежуточных результатов, используются для размещения в них новых результатов сразу же после того, как предыдущие перестают быть нужными для дальнейшего решения задачи. При этом связностью программы наз. макс. количество промежуточных результатов (машинных слов), одновременно хранимых в памяти при выполнении программы. Уменьшить связность программы можно путем: 1) выбора соответствующей логич. схемы программы и 2) целесообразного расположения

операций внутри операторов этой логической схемы.

Пример. Метод Симпсона для приближ. вычисления определ. интеграла состоит в применении ф-лы

$$\int_a^b y\,dx=\frac{h}{3}(y_0+4y_1+2y_2+4y_3+2y_4+\ldots$$
$$\ldots+2y_{2n-2}+4y_{2n-1}+y_{2n}), \qquad (1)$$

где $y=f(x)$. Выберем для реализации этого метода операторное выражение (см. *Логическая схема программы*)

$$\ldots A_1 \underset{1}{\lfloor} A_2^i\, F_3(i)\, P_4(i=2n+1) \underset{1}{\rfloor} A_5\ldots, \qquad (2)$$

в к-ром A_1— оператор, вычисляющий $z_0=y_0$; A_2^i— оператор, вычисляющий $z_i=4y_i$, и $z_{i+1}=2y_{i+1}$ [до начала выполнения операторного выражения (2) $i=1$]; $F_3(i)$ — оператор переадресации, к-рый при каждом своем выполнении увеличивает значение параметра i на две единицы; $P_4(i=2n+1)$ — логич. оператор, проверяющий выполнение условия $i=2n+1$ (пока это условие не выполняется, управление передается оператору A_2^i, в противном случае — оператору A_5), A_5 — оператор, вычисляющий величины z_{2n} и

$$\int_a^b y\,dx=\frac{h}{3}(z_0+z_1+z_2+\ldots+z_{2n-1}+z_{2n}).$$

Тогда связность программы будет не менее чем $2n+1$, ибо именно такое количество промежуточных результатов нужно хранить в памяти в момент перехода от оператора P_4 к оператору A_5.

Вместо операторного выражения (2) для реализации ф-лы (1) можно выбрать операторное выражение

$$\ldots A_1 \underset{1}{\lfloor} A_2^i\, F_3(i)\, P_4(i=n+1) \underset{1}{\rfloor} \ldots, \qquad (3)$$

в к-ром A_1— оператор, придающий величине S_0 значение 0; A_2^i— оператор, вычисляющий величину $\Delta S_i=\frac{h}{3}(y_{2i}+4y_{2i+1}+y_{2i+2})$, затем — величину $S_{i+1}=S_i+\Delta S_i$ и записывающий последнюю в ту ячейку, в к-рой первоначально хранилась величина S_0; $F_3(i)$ — оператор переадресации, к-рый при каждом своем выполнении увеличивает значение параметра i на 1 [до выполнения операторного выражения (3) $i=0$]; $P_4(i=n+1)$ — логич. оператор, проверяющий выполнение условия $i=n+1$ (пока это условие не выполняется, управление передается оператору A_2^i, в противном случае — оператору, следующему в программе за P_4). При выполнении операторного выражения (3) необходимо одноврем. запоминание лишь четырех чисел y_{2i}, y_{2i+1}, y_{2i+2}, S_i и, следовательно, связность такой программы равна 4.

Пример. Предположим, что оператор программы должен вычислять величину $w=x+y+z+u$. Если в ЭВМ предусмотрено сложение чисел только по два, то величину w можно получить следующими путями: 1) $a=x+y$; $b=z+u$; $w=a+b$; 2) $a=x+y$; $b=a+z$; $w=b+u$. В первом случае требуются одновременно две рабочие ячейки, во втором можно обойтись одной рабочей ячейкой, т. к. промежуточный результат b появится после использования предыдущего результата a и может быть записан на место хранения a.

При выборе логич. схемы, обеспечивающей малую связность программы, необходимо следить за тем, чтобы выигрыш, получаемый за счет Э. р. я., не терялся из-за значит. увеличения числа команд программы или из-за ухудшения ее структуры.

Работа, связанная с Э. р. я. при программировании вручную, производится программистом, к-рый руководствуется при этом своим опытом, а при автоматич. программировании — спец. блоком *программирующей программы*, реализующим тот или иной алгоритм Э. р. я.

Приведем алгоритм Э. р. я. на линейном участке программы для трехадресной ЭВМ, т. е. на таком участке, к-рый состоит из последовательно выполняемых команд и следовательно, не содержит внутри себя *разветвлений программы*. При программировании данного линейного участка для каждого нового промежуточного результата отводят отдельную рабочую ячейку. После окончания программирования участок программы просматривают от конца к началу так, чтобы в каждой команде адрес ячейки для записи результата просматривался впервым. При обнаружении «старой» рабочей ячейки r_n ее заменяют «новой» рабочей ячейкой ρ_m, к-рая в данный момент свободна (т. е. не заменяет собой никакой «старой» рабочей ячейки). При дальнейшем просмотре команд r_n заменяют на ρ_m включительно до тех пор, пока r_n не встретится в том адресе трехадресной команды, к-рый обозначает место записи результата. После этого рабочая ячейка ρ_m считается освободившейся и используется для замены очередной, вновь попадающейся, «старой» рабочей ячейки. Предполагается, что линейный участок не содержит команд, по к-рым машина выполняет групповые операции.

Пример. Требуется вычислить величину

$$z=\frac{(x+y)(x-y)}{x(x+y)-1}.$$

Соответствующий линейный участок программы для трехадресной ЭВМ можно составить из команд, обозначающих операции:

1) $r_1:=x+y$ 4) $r_4:=x\cdot r_1$
2) $r_2:=x-y$ 5) $r_5:=r_4+1$
3) $r_3:=r_1\cdot r_2$ 6) $z:=r_5:r_3$.

Здесь r_1, r_2, r_3, r_4, r_5— «старые» рабочие ячейки, а знак $:=$ означает присваивание выражению, стоящему слева от него, значения выражения, стоящего справа. При просмотре приведенного линейного участка от конца к началу (при этом просматривая каждую строку слева направо) имеем: при просмотре 6-й строки r_3 заменяем на ρ_1, а r_5— на ρ_2. При просмотре 5-й строки ρ_2 сразу же освобождается (т. к. r_5— место записи результата) и сразу же используется для замены r_4. При просмотре 4-й строки ρ_2 опять освобождается и сразу же используется для замены r_1. В 3-й строке освобождается и сразу же снова применяется ρ_1, а «новая» ячейка ρ_2 применяется без того, чтобы освободиться. Во 2-й строке освобождается ρ_1, а в 1-й— ρ_2. В результате имеем линейный участок

1) $\rho_2:=x+y$ 4) $\rho_2:=x\cdot\rho_2$
2) $\rho_1:=x-y$ 5) $\rho_2:=\rho_2+1$
3) $\rho_1:=\rho_2\cdot\rho_1$ 6) $z:=\rho_1:\rho_2$,

в к-ром используются только две рабочие ячейки ρ_1 и ρ_2.

Э. р. я. особенно важна для ЭВМ, имеющих в составе своего ОЗУ т. н. малую сверхбыстродействующую оперативную память, состоящую из небольшого числа ячеек.

И. А. Крицкий.

ЭКСИТРОН (exitron; exitron; Exitron) — см. *Ртутный вентиль.*

ЭКСПОНЕНЦИАЛЬНЫЕ СХЕМНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ (exponential units; éléments des circuits exponentiels; exponentielle Bauelemente für Brückenschaltungen)—мостовые схемы, плечами к-рых служат сопротивления и конденсаторы, а диагональю — диод или транзистор, начинающий пропускать ток после того, как в плечах мостовой схемы напряжение на конденсаторе становится равным напряжению на сопротивлении (рис. 1). При включении на вход AB пост. напряжения выходное напряжение $БВ$ изменяется по кривой рис. 2. В момент времени T диод открывается и выходное напряжение уменьшается до нуля с малой постоянной времени. Длительность импульса $T=RC\ln 2$ в первом приближении не зависит от входного напряжения и мало зависит от внутр. сопротивления источника R_i и сопротивления нагрузки $R_н$. Обычно $R_а=R_в=R\gg R_н$, $R\gg R_i$, $C_а=C_в=C$.

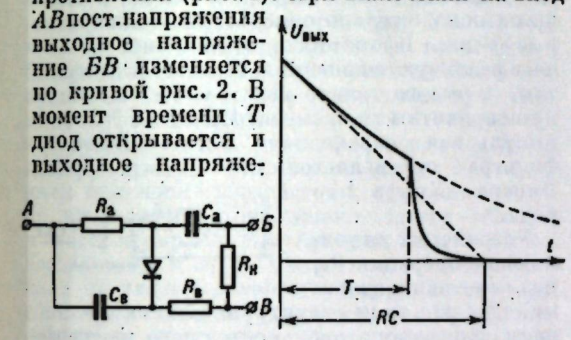


Рис. 1. Принципиальная схема экспоненц. элемента.

Рис. 2. Изменение выходного напряжения элемента во времени.

На рис. 3 приведена схема мультивибратора с Э. с. э., нечувствительная к изменению напряжения питания. Транзисторы работают в ключевом режиме и открыты поочередно. Сопротивление в коллекторе $R_к$ выбирается обычно в неск. раз меньше сопротивления $R_а=R_в$. Если выход последнего элемента не соединяется со входом первого, то схема будет распределителем со старт-стопной синхронизацией, в к-ром количество Э. с. э. равно количеству элементов распределителя. Задержки, создаваемые Э. с. э. на каждом шаге распределителя, могут быть выбраны неодинаковыми.

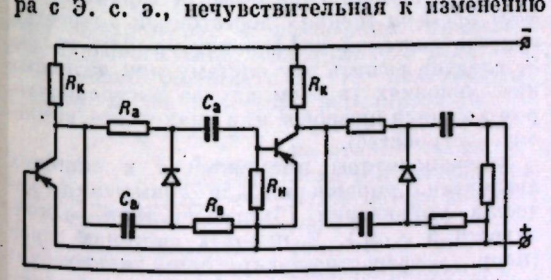


Рис. 3. Схема мультивибратора с экспоненц. элементом.

Э. с. э. применяются в импульсных генераторах (мультивибраторы, блокинг-генераторы и т. п.), в частотомерах (взамен конденсаторного частотомера), в распределителях, в преобразователях (величины напряжения, сопротивления или емкости в длительность импульса), во временных и широтных селекторах и т. д.

Лит.: Ильин В. А., Новиков А. И. «АиТ», 1958, т. 19, № 8, с. 757; Ильин В. А., «ДАН СССР», 1960, т. 132, № 2, с. 323; его же, Телеконтроль и телеуправление рассредоточенными объектами, М.—Л., 1963.

В. А. Ильин.

ЭКСТРАКЦИЯ НОСИТЕЛЕЙ ЗАРЯДА (extraction of charge carriers; extraction des porteurs de charges; Gewinn an Ladungsträgern) (от лат. extractio — извлечение, удаление) — явление, обратное инжекции, заключающееся в вытягивании носителей заряда из объема ПП и уменьшении концентраций их до значений, ниже равновесных (см. *Инжекция неосновных носителей заряда*). Распространены 2 способа осуществления Э. н. з. Первый имеет место при приложении к p—n-переходу обратного напряжения. Пусть в p—n-переходе имеется n-область (примесный ПП) с концентрацией основных носителей заряда, значительно большей концентрации неосновных ($n\gg p$). Поля в n-области при приложении обратного смещения к p—n-переходу чрезвычайно малы, и дрейфовый ток сравнительно с диффузионным током также мал, тогда справедливо неравенство:

$$E\ll E_{кр}=kT/qL_p, \qquad (1)$$

где E и $E_{кр}$— напряженности поля в n-области; k — постоянная Больцмана; T — темп-ра; q — заряд электрона; L_p — диффузионная длина неосновных носителей заряда — дырок. Концентрация неосновных носителей заряда, установившаяся вследствие экстракции на границе с n-областью,

$$p=p_0\exp(qU/kT), \qquad (2)$$

где $U<0$ — приложенное к переходу напряжение, p_0— равновесная концентрация неосновных носителей заряда — дырок. Нарастание концентрации p в глубь ПП происходит по закону:

$$p=p_0-p_0[1-\exp(qU/kT)]\exp(-x/L), \qquad (3)$$

где x — координата. При слабых полях область, обедненная неосновными носителями заряда, будет распространяться на глубину порядка L_p от границы перехода. Очевидно, что $\Delta_p\leqslant p_0$, тогда как при инжекции Δp может значительно превосходить p_0.

Рассмотрим второй способ. Пусть имеется p—n-переход с малым коэфф. инжекции γ, причем n-область — почти собственный ПП ($n_0\approx p_0$). При прямом смещении перехода возможно получить в n-области поле $E>E_{кр}$, при к-ром окажется, что скорость удаления неосновных носителей станет настолько велика, что их уменьшение не будет компенсироваться термич. генерацией и инжекцией из p-области (γ— мало). Толщина слоя, обедненного неосновными носителями заряда, будет определяться т. н. дрейфовой длиной

$$L_д=\mu E\tau_p, \qquad (4)$$

где $\mu=(n-p)/(n/\mu_p-p/\mu_n)$— эффективная подвижность носителей заряда (μ_p и μ_n— подвиж-

ности дырок и электронов), τ_p— время жизни неосновных носителей заряда.

При длине образца $l < L_д$ можно добиться почти полного обеднения образца неосновными носителями заряда и, в силу принципа квазинейтральности ПП, также и основными носителями.

Т. к. разность этих концентраций в ПП, близком к собственному, мала, происходит значительное уменьшение общего числа носителей заряда и, следовательно, проводимости ПП σ. Такое явление наз. эксклюзией.

Лит.: Смит Р., Полупроводники, пер. с англ., М., 1962; Angello S. J., Ebert Th. E., «Phys. Rev.», 1954, v. 96, № 1, p. 221; Arthur J. B. [a. o.], «Proc. Phys. Soc. B», 1955, v. 68, pt 1, № 421 B, p. 43.

В. М. Ногин.

ЭКСТРАПОЛИРОВАНИЕ (extrapolation; extrapolation; Extrapolieren) — определение значений ф-ции в нек-рой точке по известным значениям слева от нее (Э. вперед) или справа (Э. назад). Простейшая задача Э. заключается в следующем. На отрезке $[a, b]$ заданы $n+1$ точки $x_0, x_1, x_2, \ldots, x_n$, к-рые наз. узлами экстраполяции, и значения нек-рой ф-ции $f(x)$ в этих точках

$$f(x_0)=y_0,\ f(x_1)=y_1,\ \ldots,\ f(x_n)=y_n. \quad (1)$$

Требуется построить ф-цию $F(x)$ (экстраполирующую ф-цию), принадлежащую известному классу и принимающую в узлах экстраполяции те же значения, что и $f(x)$, т. е. такую, что

$$F(x_0)=y_0,\ F(x_1)=y_1,\ \ldots,\ F(x_n)=y_n. \quad (2)$$

Геометрически это обозначает, что нужно найти кривую нек-рого определ. типа, проходящую через заданную систему точек $M_i(x_i, y_i)$ $(i=0, 1, 2, \ldots, n)$. В такой общей постановке задача может иметь бесчисл. множество решений или совсем не иметь решений. Однако эта задача становится однозначной, если вместо произвольной ф-ции $F(x)$ искать, напр., полином $P_n(x)$ степени не выше n, удовлетворяющий условиям (2), т. е. такой, что

$$P_n(x_0)=y_0,\ P_n(x_1)=y_1,\ \ldots,\ P_n(x_n)=y_n.$$

Экстраполирующий полином (т. н. интерполяц. ф-ла Лагранжа) имеет вид:

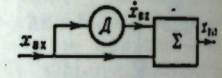
$$L_n(x)=\sum_{i=0}^{n} y_i \times$$

$$\times \frac{(x-x_0)(x-x_1)\ldots(x-x_{i-1})(x-x_{i+1})\ldots(x-x_n)}{(x_i-x_0)(x_i-x_1)\ldots(x_i-x_{i-1})(x_i-x_{i+1})\ldots(x_i-x_n)}.$$

В случае равноотстоящих узлов экстраполирования пользуются более простыми ф-лами (1-я и 2-я интерполяц. ф-лы Ньютона), к-рые применяются и для интерполирования ф-ции.

В общем случае Э. можно осуществлять при помощи любой системы ортогональных ф-ций. Напр., если значения ф-ции повторяются в нек-рых узлах, в качестве экстраполирующей ф-ции удобно использовать периодич. ф-ции. Ошибка Э. определяется выбором системы экстраполирующих ф-ций и узлов экстраполирования. Вообще говоря, ошибка Э. уменьшается при увеличении числа узлов Э. Однако при неудачном выборе системы экстраполирующих ф-ций и узлов Э. ошибка может даже возрастать при увеличении числа узлов.

Во многих случаях ф-ция, к-рую нужно экстраполировать, представляет собой реализацию нек-рого случайного процесса, наблюдаемую на протяжении периода $(0, T)$. Задача заключается в оценке значений, к-рые реализация рассматриваемого процесса (или нек-рых его параметров, таких, как ср. значение, мощность и т. п.) принимает в момент t, лежащие вне интервала отбора $(0, T)$. Здесь в большинстве случаев определяется инвариантный во времени линейный реализуемый фильтр, оптимизирующий оценку по критерию минимума среднеквадратичной ошибки. Возможны и часто желательны др. критерии, но указанный критерий отличается математич. простотой. Для решения задач такого рода часто применяется теория Винера—Колмогорова. В этой теории предполагается, что сигнал $S(t)$ характеризуется только статистич. параметрами, т. е. является чисто случайным процессом. Мешающий шум $N(t)$ представляет также чисто случайный процесс, комбинируется с сигналом аддитивно и может быть с ним связан статистически. Далее предполагается, что накопление и обработка данных совершаются только над прошлым процессов на входе, к-рые считаются стационарными в широком смысле и имеющими положительно определенные ковариационные ф-ции. Кроме того, в большинстве случаев реализуются оптимальные линейные фильтры, к-рые не только реализуемы, но также и инвариантны во времени. При этих условиях импульсная переходная ф-ция линейного фильтра определяется из интегр. ур-ния Винера—Хопфа 1-го рода.



Устройства, выполняющие операцию Э., наз. экстраполяторами. На рис. дана структурная схема простейшего экстраполятора, состоящего из дифференцирующего устройства $Д$ и сумматора Σ.

При этом

$$x_{вых}(t)=x_{вх}(t)+\tau\dot{x}_{вх}(t)$$

(первые два члена ряда Тейлора). Применение таких устройств в системах автоматич. управления позволяет существенно улучшить их динамич. св-ва (т. н. системы с воздействием по производной).

Следует отметить, что экстраполирующая ф-ция не всегда бывает задана в явном виде. Напр., если поведение объекта в данный момент времени можно с достаточной точностью описать системой дифференц. ур-ний, то для Э. следует решить эту систему при заданных нач. условиях (в этом случае экстраполятором является цифровое или аналоговое вычислит. устройство).

Экстраполяторы применяются в системах автоматич. управления для повышения качества управления (быстродействия, устойчивости и т. п.). В нек-рых системах связи (напр., разностно-дискретная модуляция) используется Э. передаваемого сообщения на приемном и передающем концах канала связи, а по каналу связи передается только ошибка Э., что повышает эффективность канала связи (помехоустойчивость, экономичность или пропускную способность).

Лит.: Уиттекер Э. Т., Робинсон Г., Математическая обработка результатов наблюдений, пер. с англ., Л.—М., 1933, гл. 1; Милн В. Э., Численный анализ, пер. с англ., М., 1951, гл. 3, 4; Березин И. С., Жидков Н. П., Методы вычислений, 2 изд., т. 1—2, М., 1962; Миддлтон Д., Введение в статистическую теорию связи, пер. с англ., т. 2, М., 1962.

В. В. Бурак.

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ СИСТЕМА, экстремальный регулятор (extremal system; système extrêmal; Extremalsystem), — система автоматич. управления, обеспечивающая отыскание и поддержание таких (наивыгоднейших) значений входных координат управляемого объекта, при к-рых его выходная координата достигает наибольшего или наименьшего значения (напр., макс. дальности полета самолета, макс. кпд, макс. темп-ры в топке, наименьшей стоимости продукции и т. д.). Проблема разработки и исследования Э. с.— одна из важнейших в области автоматич. управления. Преимущества Э. с. в том, что при их применении не требуется значит. нач. информации об управляемом объекте, а также высокой точности измерит. аппаратуры, дающей текущую информацию об управляемом объекте (УО). Эта аппаратура должна лишь иметь достаточную чувствительность.

Поскольку характер экстремальной зависимости заранее не известен, Э. с. действует по принципу поиска: на входы управляемого объекта подаются поисковые (испытательные) воздействия, изучается реакция УО на эти воздействия и определяются те воздействия (допустимые), к-рые изменяют выходные координаты в требуемом направлении; затем входы УО меняют в нужную сторону на нек-рую величину, т. е. производят рабочие воздействия. Далее снова на входы УО подаются поисковые воздействия, определяются те из них, к-рые приближают выход объекта к экстремуму, затем производятся рабочие воздействия и т. д. После прохождения сигнала на входе, соответствующего экстремуму, сигнал на выходе удаляется от последнего, вследствие чего происходит реверс сигнала на входе — начинаются колебат. движения вокруг экстремума. Иногда поисковые и рабочие воздействия осуществляются в одно и то же время или совмещаются. В качестве испытательных (пробных) сигналов в ряде случаев могут использоваться случайные воздействия (флуктуации); при этом отпадает необходимость в создании спец. поисковых воздействий.

Описан и испытан ряд типов Э. с. Установившейся классификации Э. с. нет. Их можно разделить на следующие типы: с запоминанием экстремума, с измерением производной, шагового типа, непрерывного действия. Э. с. можно оценивать по их помехоустойчивости и по качеству регулирования. К показателям качества относят время поиска (быстродействие Э. с.), потери на «рысканье» (вызываемые тем, что в окрестностях экстремума обычно происходят установившиеся колебания), а также величины амплитуды колебаний на входе в объект (рис. 1) и на его выходе в установившемся режиме. Под потерей на «рысканье» понимают макс. отклонение динамич. значения сигнала на выходе от экстремума статич. хар-ки; иногда в качестве потери на «рысканье» принимают ср. отклонение за период колебания.



Рис. 1. Установившийся режим в экстремальной системе.

В нек-рых Э. с. применяют устройства для самовыключения после достижения экстремума; при этом включение в режим поиска происходит или через заданные промежутки времени или обеспечивается с помощью т. н. «стерегущего устройства» при изменении выходной координаты.

Могут представиться случаи, когда экстремальная зависимость неясно выражена или экстремум вовсе отсутствует, как на рис. 2,*а*. При этом работа Э. с. затруднена или не может быть осуществлена вообще. Иногда же требуется отыскивать не экстрем. значение выхода, а близкое к нему. В таких случаях можно использовать описанную Э. с., если вводить в нее не сигнал с выхода УО, а показатель фиктивного экстремума, получаемого путем суммирования сигнала на выходе объекта с сигналом жесткой *обратной связи* от исполнит. механизма (рис. 2, *б*). При положит. обратной связи будет происходить поиск рабочей точки, лежащей справа от максимума, в к-рой $dy/dx = \text{const} < 0$, а при отрицат. обратной связи — поиск рабочей точки, в к-рой $dy/dx = \text{const} > 0$. Величина константы определяется коэфф. обратной связи.

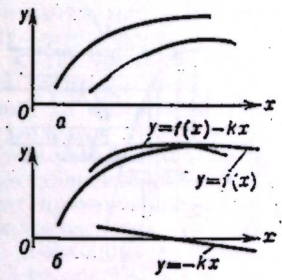


Рис. 2. Типы экстремальных характеристик и способ получения фиктивного экстремума.

В связи с тем, что в основе Э. с. лежит метод поисковых воздействий (к-рые обычно сохраняются и после нахождения экстремума), Э. с. предъявляет бо́льшие требования к обеспечению устойчивой работы, чем обычные системы регулирования. Пренебрежение этой спецификой Э. с. приводит к тому, что нек-рые рекомендуемые в литературе Э. с. оказываются малопригодными к работе в пром. условиях или вообще неустойчивыми.

Очень важная задача — обеспечение достаточного быстродействия Э. с., поскольку инерционность УО обычно замедляет поиск экстремума, что делает бесполезным применение таких Э. с. при быстром изменении наивыгоднейшего значения входа. См. также цикл статей по оптимальному управлению и оптимизаторам.

Лит.: Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; Красовский А. А., Динамика непрерывных самонастраивающихся систем, М., 1963; Лернер А., Применение самонастраивающихся систем автоматического управления, в кн.: Тр. I Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т. 6], М., 1961; Фицнер Л. Н., Электрические автоматические оптимизаторы, «Э-во», 1960, № 8; Ивахненко А. Г., Техническая кибернетика, Киев, 1959; Куницевич В. М., Системы экстремального управления, Киев, 1961; Островский Ю. И., Экстремальное регулирование, «АиТ», 1957, т. 18, № 9; Мороса нов И. С., Методы экстремального регулирования, там же, № 11; Юркевич А. П., О динамике систем экстремального регулирования с запоминанием при низкочастотных внешних возмущениях, «ИАН СССР. ОТН. Энергетика и автоматика», 1960, № 6; Казакевич В. В., Системы экстремального регулирования и некоторые способы улучшения их качества и устойчивости, в сб.: Автоматическое управление и вычислительная техника, М., 1958; Цянь-Сюэ-сэнь, Техническая кибернетика, пер. с англ., М., 1956; Дрейпер Ч., Ли И., Принципы автоматической оптимизации, в сб.: Автоматическая оптимизация управляемых систем, пер. с англ., под ред. Б. Н. Петрова, М., 1960.

В. В. Казакевич.

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ, экстремальная система с модулирующими колебаниями, экстремальная система с непрерывным поиском (analogue extremal system; système extrêmal à action continue; kontinuierliches Extremalsystem). В таких системах на вход объекта подаются периодические, синусоидальные, пилообразные или др. колебания, в результате к-рых получаются периодич. изменения сигнала на выходе [1]. Колебания на выходе могут иметь пост. составляющую, основную и кратные гармоники.

Если объект безынерционный, то на выходе сдвиг фазы составляющей осн. частоты по отношению к колебаниям на входе зависит от положения рабочей точки на экстрем. хар-ке (рис. 1). Если рабочая точка находится слева от максимума, то сдвиг фазы равен нулю; если справа — то сдвиг фазы 180°, если рабочая точка находится на экстремуме, то осн. составляющая отсутствует. Т. о., сдвиг фазы осн. составляющих на входе и на выходе определяет положение рабочей точки. Определив этот сдвиг фазы тем или иным путем, сообщают медленное изменение сигналу на входе объекта в сторону, приближающую сигнал на его выходе к максимуму.

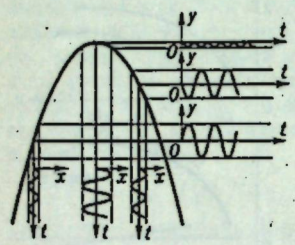


Рис. 1.

На рис. 2 дана блок-схема Э. с. н. д., раскрывающая нек-рые св-ва объекта. Э. с. н. д.—важный класс *экстремальных систем*; они очень удобны для малоинерц. объектов: могут применяться, напр., для настройки колебат. контуров в резонанс с частотой принимаемого сигнала, для совмещения изображений, для отыскания макс. давления за компрессором турбореактивного двигателя [1, 2] и др.

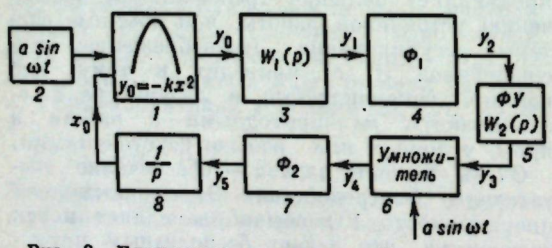


Рис. 2. Блок-схема экстремальной системы непрерывного действия: *1* — объект, имеющий экстремальную хар-ку; *2* — генератор поисковых колебаний; *3* — инерц. звено за объектом регулирования; *4* —полосовой фильтр, подавляющий как медленно изменяющуюся составляющую, так и гармоники удвоенной и более высоких частот; *5* — формулирующее устройство; *6*— фазовый детектор или индикатор фазы; *7* — фильтр, подавляющий составляющую двойной частоты; *8*— интегрирующее устройство, обеспечивающее медленное изменение входа в соответствии с выходом звена 7.

Достоинства Э.с. н. д.: сравнительно несложное аппаратурное решение, устойчивость по отношению к НЧ возмущениям, возможность одноврем. поиска по неск. переменным. Недостатки: трудность применения в случае инерц. объектов, затруднения в выборе частот поиска, к-рые должны быть достаточно большими, чтобы не смешивать их с колебаниями (дрейфом) экстремальной хар-ки и достаточно медленными, чтобы отделить их от ВЧ шума; излишне большая амплитуда поисковых колебаний на выходе, особенно на участках экстремальной хар-ки с большим наклоном.

Первая трудность связана со следующим обстоятельством: если на вход инерц. звена подается синусоидальное воздействие $x_{вх}=a\sin\omega t$, то сигнал на его выходе будет иметь вид $x_{вых}=a_1\sin(\omega t+\varphi)$. После отфильтрования составляющих двойной частоты сигнал на выходе множительного устройства будет $\frac{aa_1}{2}\cos\varphi_1$. Для возможности работы системы требуется выполнение условия $\cos\varphi>0$, т. е. $\varphi<\pi/2$. Если же будет $\varphi>\pi/2$, то Э.с.н.д. будет смещать вход не в сторону экстремума, а от него, т. е. сделается неустойчивой. Если предположить, что в звеньях *3* и *4* (рис. 2) имеется транспортное запаздывание или что они статические, а порядок последоват. цепочки этих звеньев — второй или более высокий, то всегда имеется такое значение частоты $\omega=\omega^*$, выше к-рой $\varphi>\pi/2$. Следовательно, допустимая область частот $\omega\leqslant\omega^*$. Если постоянная времени объекта велика, то ω^* мала, и допустимые колебания имеют слишком большой период. Если дрейф экстремальной хар-ки происходит достаточно быстро, то Э. с. н. д. не будет нормально функционировать.

Высказаны идеи, позволяющие расширить область применения таких систем на более инерц. объекты путем повышения границы ω^* допустимых частот подачей на вход фазового детектора не самого выхода объекта, а его старших производных [4].

Вторая трудность, связанная с выбором допустимого диапазона частот, может быть преодолена совмещением метода непрерывного поиска с шаговым смещением входа. При этом необходимо производить непрерывные поисковые изменения входа в течение нескольких (n) циклов колебаний, повторяя этот процесс столько раз, сколько требуется для выделения полезного сигнала; рабочее движение ведется после накопления полезного сигнала.

В случае, когда помехи имеют вид не шума *белого*, а в них подчеркнуты составляющие с частотами, близкими к поисковым частотам, может оказаться целесообразным сделать частоту модулирующих колебаний в течение n циклов переменной, вследствие чего совпадение частот будет наблюдаться лишь в течение короткого промежутка времени. Указанный способ оказывается полезным также в тех случаях, когда система регулирования имеет собств. частоты и может появиться опасность попадания модулирующих колебаний в резонанс с ними [4]. Для облегчения выбора необходимого интервала частот при наличии инерционности объекта целесообразно, как указывалось выше, подавать в фазовый детектор не выход объекта, а старшие производные.

Лит.: 1) Красовский А. А., Динамика непрерывных самонастраивающих систем, М., 1963; 2) Вазу Г., Экспериментальное исследование автомата оптимизации с непрерывным сигналом поиска... в сб.: Автоматическая оптимизация управляемых систем, пер. с англ., под ред. Б. Н. Петрова, М., 1960; 3) Дрейпер Ч., Ли И., Принципы автоматической оптимизации, там же; 4) Казакевич В. В., О процессе экстремального регулирования инерционных объектов при наличии возмущения, в кн.: Тр. I Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению [т. 2], М., 1961.

В. В. Казакевич

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ СИСТЕМА С ЗАПОМИНАНИЕМ ЭКСТРЕМУМА, экстремальная система с запоминанием максимума, минимума (extremal system with storage of the extremum; système extrêmal avec mémorisation de l'extrêmum; Extremalsystem mit Speicherung des Extremwerts). Такие системы реагируют на отклонение текущего значения выходной координаты от ее значения, запомненного в предыдущий момент времени. В Э. с. с з. э. поисковое (пробное) воздействие на объект обычно является частью рабочего воздействия, причем направление каждого пробного воздействия, удаляющего систему от требуемого экстремума, изменяется на обратное.

Укрупненная структурная схема системы дана на рис. 1, *а*. В нее входят: объект управления, устройство логич. действия, включающее реле знака изменения сигнала на выходе (т. н. сигнум-реле) и реверсирующее звено (триггер), и исполнит. орган, обеспечивающий пробное и рабочее воздействие на объект. Обычно для обеспечения устойчивости системы добавляется стабилизирующее устройство того или иного типа. Если мерой выхода объекта является напряжение, то сигнум-реле может быть выполнено в виде конденсатора, подключенного к выходу объекта через вентиль, позволяющий заряжать конденсатор, но препятствующий его разряду (рис. 1,*б*).

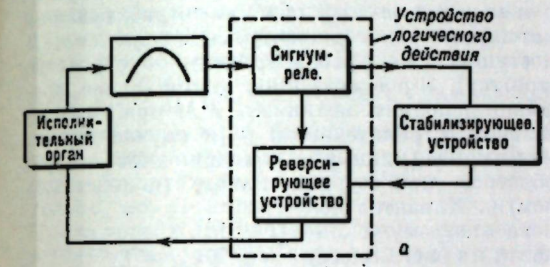


Рис. 1: *а* — структурная схема экстремальной системы с запоминанием экстремума; *б* — схема сигнум-реле.

Если пробное воздействие начинает удалять сигнал x на входе от его наивыгоднейшего значения (рис. 2,*а*), т. е. удалять сигнал y на выходе объекта от экстремума (рис. 2,*б*), то запомненное в нач. момент напряжение на конденсаторе будет больше, чем текущее значение $y(t)$. Поэтому появится разность напряжений между напряжением y^* на конденсаторе и текущим значением $y(t)$ (рис. 2, *в*). Эта разность будет расти до тех пор, пока не достигнет зоны нечувствительности δ сигнум-реле. Оно сработает, произведет реверс исполнит. механизма и начнется изменение сигнала x на входе в нужную сторону. В момент реверса конденсатор должен быть заряжен с помощью ключа $к$ до соответствующего значения $y(t)$ в этот момент. Начиная с момента реверса, напряжение на выходе объекта растет; благодаря вентилю напряжение на конденсаторе следит за выходом вплоть до момента достижения максимума. Когда сигнал x на входе перейдет за свое наивыгоднейшее значение, соответствующее максимуму сигнала на выходе, начинается уменьшение сигнала на выходе, а на конденсаторе запоминается значение, соответствующее максимуму y. Когда разность $y^*-y(t)$ достигает величины δ, происходит реверс сигнала на входе, и начинаются его колебания, вызывающие колебания сигналов на выходе с амплитудой δ. В Э. с. с з. э. применяются пневматич., электромеханич. и электронные сигнум-реле.

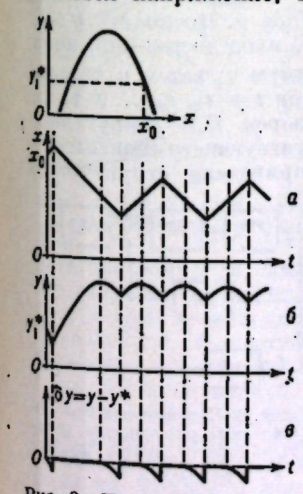


Рис. 2. Процесс поиска в экстремальной системе.

Достоинства Э. с. с з. э.: 1) небольшая, сравнительно с др. типами экстремальных систем, амплитуда колебаний на экстремуме и в процессе поиска, определяемая лишь зоной нечувствительности сигнум-реле и динамикой системы, и 2) меньшая, по сравнению с экстрем. системами с измерением производной, зависимость от формы экстремальной хар-ки. Недостаток Э. с. с з. э.: необходимость применения стабилизирующих устройств, без к-рых работоспособность этих систем в реальных условиях мала. Необходимость в стабилизирующих устройствах вызывается следующим. По самой идее экстремальные системы предназначены для отыскания и поддержания экстремума выхода в условиях, когда экстремальная хар-ка подвержена дрейфу — возмущениям, приводящим к непрерывному смещению хар-ки как по вертикали, так и в сторону. Рассмотрим влияние дрейфа экстремальной хар-ки [1]. Пусть начались возмущения, смещающие экстремальную хар-ку I, напр. вверх (рис. 3). Пусть кривые I, II, III и IV соответствуют экстремальным хар-кам в моменты времени t_1, $t_2>t_1$, $t_3>t_2$ и т. д., и при $t=t_1$ сигнал x на входе начал уменьшаться. Тогда моменту t_2 вместо точки b (при отсутствии дрейфа) будет соответствовать точка b' кривой II, моменту t_3— вместо точки c — точка c' кривой III, моменту t_4— вместо d — точка d' кривой IV. В связи с тем, что вместо уменьшения сигнала на выходе происходит его увеличение, реверса не произойдет, и сигнал на входе вместо приближения к экстремуму будет удаляться в крайнее положение, т. е. экстремальная система потеряет устойчивость.

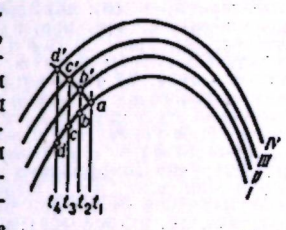


Рис. 3. Пример дрейфа экстремальной хар-ки.

Для обеспечения устойчивости используют различные способы стабилизации, в т. ч.: а) периодич. реверсирование во времени изменения сигнала на входе с помощью коммутатора, независимо от работы сигнум-реле [1, 3]; б) реверсирование сигнала на входе в зависимости от изменения сигнала на выходе [6]; в) использование вычислит. устройств, отделяющих дрейф экстремальной хар-ки от пробных возмущений [5]; г) периодич.

прерывание смещения сигнала на входе [9]. Увеличение устойчивости достигается при использовании динамич. преобразователя в сочетании с периодич. реверсированием входа по времени [6]. В ряде систем стабилизирующие устройства не применяются.

Введение с помощью коммутатора периодич. реверсов обеспечивает или приближение сигнала на входе к экстремуму и при наличии дрейфа, или прекращение смещения сигнала на входе на время действия интенсивных внешних возмущений. Подключение прерывателя, целесообразное с точки зрения уменьшения «рысканья», не устраняет рассмотренной неустойчивости.

Э. с. с з. э., не имеющие спец. стабилизирующих устройств, неработоспособны при наличии сколько-нибудь значит. внешних возмущений. Для увеличения устойчивости при ВЧ помехах выходную величину интегрируют перед ее запоминанием [7].

Применение описанных выше Э. с. с з. э. к объектам, обладающим большой инерционностью, связано с значит. «рысканьем» и большой потерей на поиск; для их снижения нужно уменьшать скорость входа, что приводит к замедлению поиска экстремума и увеличению влияния помех. Избежать указанных недостатков можно, если подавать на запоминание не сам сигнал на выходе объекта, а его старшую производную и производить быстрое изменение входа, обеспечивая при этом устойчивость с помощью коммутатора. Возможна подача на запоминание промежуточных производных или их комбинаций между собой и сигналом на выходе при условии, что после реверса производится отключение запоминания на нек-рый промежуток времени [5].

Лит.: 1) Казакевич В. В., Об экстремальном регулировании, в сб.: Автоматическое управление и вычислительная техника, вып. 6, М., 1964; 2) Дрейпер Ч., Ли И., Принципы автоматической оптимизации, в сб.: Автоматическая оптимизация управляемых систем, пер. с англ., под ред. Б. Н. Петрова, М., 1960; 3) Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; 4) Казакевич В. В., Системы экстремального регулирования и некоторые способы улучшения их качества и устойчивости, в сб.: Автоматическое управление и вычислительная техника, М., 1958; 5) его же, О процессе экстремального регулирования инерционных объектов при наличии возмущений, в кн.: Тр. I Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т. 2], М., 1961; 6) Юркевич А. П., Переходные процессы в системе экстремального регулирования с динамическим чувствительным элементом, «АиТ», 1961, т. 22, № 2; 7) Фицнер Л. Н., Электрические автоматические оптимизаторы, «Э-во», 1960, № 8; 8) Ивахненко А. Г., Самонастраивающиеся системы автоматического регулирования, Киев, 1957; 9) Островский Ю. И., Экстремальное регулирование, «АиТ», 1957, т. 18, № 9.

В. В. Казакевич.

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ СИСТЕМА С ИЗМЕРЕНИЕМ ПРОИЗВОДНОЙ (extremal system with derivative measurement; système extrêmal avec mesure de la dérivée; Extremalsystem mit messung der Ableitung). Такая система обычного типа реагирует на знак или величину производной $\dot{y}$ от регулируемого параметра y [1—5]. Направление поискового (пробного) воздействия входного параметра x изменяется в зависимости от знака $\dot{y}$ [1, 2] или от комбинации знаков $\dot{y}$ и $\dot{x}$ [2, 3]. При этом Э. с. с и. и. находит значение входа x^*, к-рому соответствует нуль производной $\dot{y}$ или производной $\frac{dy}{dx}$.

Структурная схема экстремальной систем действующей в зависимости от знака $\dot{y}$, зна на рис. 1. Реверсивный двигатель измен

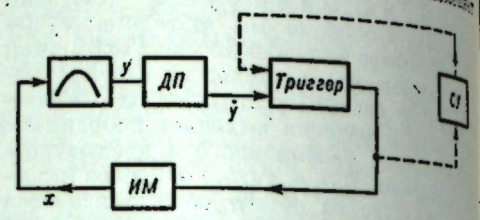


Рис. 1. Блок-схема экстремальной системы, действующей в зависимости от знака производной регулируемого параметра: *СУ* — стабилизирующее устройство.

координату x входа в ту или др. сторону с постоянной по величине скоростью; скорость y изменения выхода объекта вырабатывается датчиком производной *ДП*. Сигнал от ДП поступает на реверсирующее устройство (триггер), к-рое сохраняет направление вращения исполнит. механизма *ИМ* при положительном (отрицательном) $\dot{y}$ [в случае поиска максимума (минимума)] и изменяет его на обратное при отрицательном (положительном) $\dot{y}$. Характер поиска экстремума показан на рис. 2. Здесь, для примера, экстремальный регулятор включен в момент t_1, и в этот момент вход x имеет значения, соответствующие точке M, лежащей на правой ветви хар-ки, причем *ИМ* вращается в такую сторону, что x растет (y убывает). При этом *ДП* фиксирует отрицат. знак $\dot{y}$. По истечении времени запаздывания в элементах экстрем. регулятора и прохождения зон нечувствительности происходит при $t = t_2$ реверс *ИМ* и начинается убывание x и возрастание y. Поскольку $\dot{y}>0$, *ИМ* смещает монотонно вход до тех пор, пока не будет пройден максимум y; затем y делается отрицательным и при $t = t_3, t_4, \ldots$ и т. д. будут происходить реверсы *ИМ* вокруг значения $x = x^*$, соответствующего максимуму $y = y^*$. На рис. 3 приведена структурная схема экстремального регулятора, учитывающего знаки $\dot{y}$ и $\dot{x}$ [3]. Производные x и y подаются в устройство логич. действия *УЛД*, включающее два поляризов. реле и управляющее движением *ИМ*. Как и в экстремальном регуляторе, учитывающем знак $\dot{y}$, движение входа x к экстремуму — монотонное. Недостаток схем с таким движением входа x — потеря устойчивости регулирования при наличии интенсивного дрейфа экстремальной хар-ки. Для обеспечения устойчивости необходимо применение стабилизирующих устройств; в качестве такового применяют коммутатор — устройство, периодически производящее

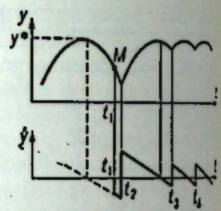


Рис. 2. Изменение регулируемого параметра и его производной по времени.

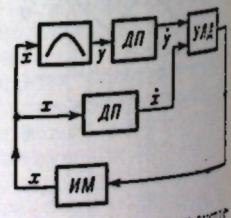


Рис. 3. Блок-схема экстремального регулятора, учитывающего знаки производных $\dot{x}$ и $\dot{y}$.

поворочные (пробные) реверсы *ИМ*; в этом случае перемещение сигнала на входе x в сторону экстремума — не монотонное [1]. Дополнит. уменьшения влияния дрейфа можно достигнуть применением динамич. преобразователя [7]. С целью уменьшения амплитуды колебаний при достижении экстремума предложено производить смещение входа x со скоростью, пропорциональной наклону экстремальной хар-ки $\frac{dy}{dx}$. Для этого сигналы $\dot{y}$ и $\dot{x}$ вводят в делит. устройство, дающее на выходе величину $\frac{dy/dt}{dx/dt} = \frac{dy}{dx}$. Экстремальные системы такого типа должны, казалось бы, улучшать переходные процессы в системе при наличии экстремальной хар-ки параболич. типа — ускорять их и обеспечивать меньшую амплитуду колебаний вокруг экстремума. Однако при их реализации возникают трудности, связанные с делением на величины, близкие или равные нулю (поскольку при приближении к экстремуму будет $\frac{dy}{dx} \to 0$, что приводит к уменьшению до нуля скорости $\dot{x}$). Помимо этого, в случаях, когда экстремальная хар-ка имеет точки перегиба, движение к экстремуму может не только не убыстриться, но и замедлиться. Кроме того, в [8] показано, что такая система теряет устойчивость при наличии дрейфа экстремальной хар-ки в сторону экстремума. Однако там же говорится, что устойчивости можно достигнуть введением коммутатора поворочных реверсов.

Применение рассмотренных Э. с. с и. п. к инерц. объектам может сильно затянуть время поиска; так, напр., в объектах 1-го порядка оно составляет 15—20 постоянных времени объекта. На рис. 4,*а* показан переходный процесс при поиске экстремума в инерц. объекте 1-го порядка. Как видно, процесс поиска происходит длительно, с большим перерегулированием и значит. потерей на поиск. В [9—11] указывается, что можно значительно убыстрить поиск, если отыски-

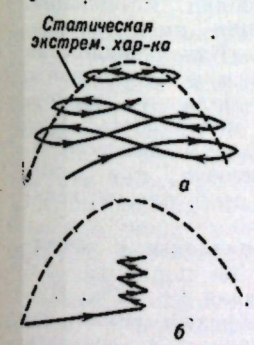


Рис. 4. Переходные процессы в системе экстремального регулирования: *а* — с обычным экстремальным регулятором; *б* — с быстродействующим экстремальным регулятором.

вать экстремум не самого выхода y объекта, а его старшей (n-ной) производной. Но экстремум n-ной производной — это нуль $(n+1)$ производной. В частности, в случае объекта 1-го порядка целесообразно отыскивать не нуль 1-й производной, а нуль 2-й производной (рис. 4,*б*). При быстрой перекладке входа *ИМ* реверсирует в близкой окрестности значений x^*. При этом процесс установления сигнала на выходе y происходит с наибольшей скоростью, амплитуда рысканья и потери на поиск оказываются малыми. Для обеспечения устойчивости при наличии дрейфа экстремальной хар-ки в подобных системах необходимо использовать стабилизирующие устройства, напр., типа коммутатора поворочных реверсов.

Лит.: 1) Казакевич В. В., Об экстремальном регулировании, в сб.: Автоматическое управление и вычислительная техника, вып. 6, М., 1964; 2) Дрейпер Ч., Ли И., Принципы автоматической оптимизации, в сб.: Автоматическая оптимизация управляемых систем, пер. с англ., под ред. Б. Н. Петрова, М., 1960; 3) Ивахненко А. Г., Самонастраивающиеся системы автоматического регулирования, Киев, 1957; 4) Островский Ю. И., Экстремальное регулирование, «АиТ», 1957, т. 18, №9; 5) Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; 6) Мороканов Н. С., Методы экстремального регулирования, «АиТ», 1957, т.18, № 11; 7) Юркевич А. П., О процессах экстремального регулирования с динамическим преобразованием и запоминанием входного сигнала при наличии возмущений, «ДАН СССР», 1960, т. 133, № 6; 8) его же, К вопросу об устойчивости систем экстремального регулирования с пропорциональным управлением скоростью входа, «ИАН СССР. ОТН. Энергетика и автоматика», 1961, № 6; 9) Казакевич В. В., О процессе экстремального регулирования инерционных объектов при наличии возмущений, в кн.: Тр. I Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т. 2], М., 1961; 10) Хамза М. Х., Синтез систем регулирования с поиском экстремума, «АиТ», 1964, т. 25, № 8; 11) Перре Р., Руксель Р., Теория и применение экстремального регулитора. М., 1963.

В. В. Казакевич.

ЭКСТРЕМАЛЬНАЯ СИСТЕМА ШАГОВОГО ТИПА, экстремальная система дискретного действия (stepping extremal system; système extrêmal du type pas—à—pas; diskontinuierliches Extremalsystem). В такой системе вход x изменяется ступенчато — шагами. В ЗУ (рис. 1) хранится

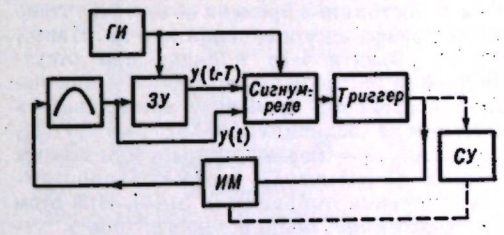


Рис. 1. Блок-схема экстремальной системы шагового типа: *ГИ* — генератор импульсов.

информация о значении выхода y в предыдущем шаге. В сигнум-реле (реле знака) с этим значением сравнивается значение y, полученное в последующем шаге. Если последующее значение y больше предыдущего (при поиске максимума), то следующий шаг делается в том же направлении, запомненное в предыдущем шаге значение выхода сбрасывается, а новое значение выхода запоминается. Если же последующее значение меньше предыдущего, то сигнум-реле дает команду на триггер реверса, и шаг делается в противоположную сторону. Величина шага может быть постоянной или переменной; если экстремальная хар-ка параболич. типа, то величину шага можно сделать пропорциональной dy/dx.

Наиболее перспективно применение Э.с.ш.т. для систем с объектами, обладающими большим транспортным запаздыванием. Важная задача — обеспечение устойчивости Э. с. ш. т. при наличии дрейфа экстремальной хар-ки. В качестве стабилизирующего устройства *СУ* можно использовать коммутатор поворочных реверсов, обеспечивающий изменение направления движения входа x через определ. число шагов (3, 4, 5 и т. д.). После каждого реверса исполнит. механизма *ИМ* счет шагов должен начинаться сначала [4].

Для увеличения помехоустойчивости при ВЧ шумах в [1] предложена система с пост. шагом и перем. интервалами времени между шагами (рис. 2). ЗУ хранит значение $y=y_0$, полученное в начале шага. Разность $y(t)-y_0$

поступает в интегратор $И$ и интегрируется в течение времени τ, пока $V=\int_0^{\tau}[y(t)-y_0]dt$ не достигнет одного из значений $+V_0$ и $-V_0$.

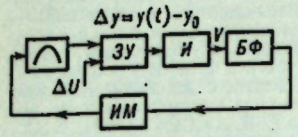


Рис. 2. Блок-схема экстремальной системы шагового типа с пост. шагом.

В зависимости от знака V_0 шаг происходит в ту же или в противоположную сторону. Одновременно интегратор сбрасывается на нуль, запоминается новое значение y_{01}, и начинается новый цикл работы экстрем. регулятора. Для уменьшения влияния дрейфа экстремальной хар-ки в интегратор вводится дополнит. пост. положит. сигнал ΔU [2]. Значит. трудности в процесс поиска экстремума вносит инерционность объекта.

В [3] описан способ уменьшения влияния инерционности объекта путем измерения приращений выхода в каждом шаге за конечные промежутки времени и определения того значения, к-рое принял бы выход объекта после каждого шага в результате завершения процесса установления; этим путем могут быть определены и постоянные времени объекта и учтено влияние дрейфа экстремальной хар-ки. Напр., в случае объекта 1-го порядка при отсутствии дрейфа экстремальной хар-ки и при известной постоянной времени T нужно вводить в сигнум-реле величину $\delta=\Delta y_{k+1}-e^{-\tau/T}\Delta y_k$, где Δy_k и Δy_{k+1} — первые приращения выхода в k-том и $(k+1)$ шагах соответственно; τ — время измерения приращения Δy [3]. При этом исчезает влияние инерционности: поиск ускоряется, делается монотонным, уменьшается рысканье и потеря на поиск. В случае инерц. объектов ускорения поиска можно также достигнуть, вводя в сигнум-реле n-ю разность $\Delta^{(n)}y$ или отыскивая нуль $(n+1)$ разности. Целесообразно также введение первых разностей, полученных в нескольких последоват. шагах.

Лит.: 1) Фицнер Л. Н., О принципах построения и методах анализа некоторых типов экстремальных систем. Доклад на конференции по теории и применению дискретных автоматических систем, [№ 37], М., 1958; 2) его же, Электрические автоматические оптимизаторы, «Э-во», 1960, № 8; 3) Казакевич В. В., О процессе экстремального регулирования инерционных объектов при наличии возмущений, «ДАН СССР», 1959, т. 126, № 3; 4) его же, Системы экстремального регулирования и некоторые способы улучшения их качества и устойчивости, в сб.: Автоматическое управление и вычислительная техника, М., 1958; 5) Кунцевич В. М., Системы экстремального управления, Киев, 1961; 6) Александровский Н. М., Бондаревский А. С., Двухканальный автоматический оптимизатор на феррит-транзисторах, в сб.: Автоматическое управление и вычислительная техника, вып. 6, М., 1964. См. также лит. при ст. *Экстремальная система с измерением производной.*

В. В. Казакевич.

ЭЛЕКТРОАКУСТИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ (electro-acoustic effect; effet électro-acoustique; elektroakustischer Effekt) — возникновение пост. электрич. поля в направлении бегущей акустич. волны в среде, содержащей подвижные носители заряда. Поле образуется вследствие «увлечения» подвижных носителей заряда акустич. волной; величина его определяется соотношением между частотой акустич. волны, временем релаксации подвижных носителей заряда и видом энергетич. спектра. Это обусловливает научное значение Э. э., как метода изучения энергетич. спектра и деталей механизма рассеяния носителей заряда. Исследование Э. э. позволяет уточнить локализацию энергетич. минимумов, определить константу деформац. потенциала и оценить роль рассеяния носителей заряда с переходом из минимума в минимум.

Величина Э. э. в неполярных ПП (напр., n-Ge) невелика; в пьезоэлектрич. ПП (напр., CdS, GaAs) Э. э. приводит к усилению звука, представляющему практич. интерес.

Лит.: Гуревич Л. Э., О некоторых электроакустических эффектах, «ИАН СССР. Сер. физ.», 1957, т. 21, № 1, с. 112; White D. L., Amplification of ultrasonic waves in piezoelectric semiconductors, «J. Appl. Phys.», 1962, v. 33, № 8, p. 2547–53.

Ю. В. Илисавский.

ЭЛЕКТРОВОРСОВАНИЕ (electrical terseling; emploi de laineuses électriques; Elektrokardieren) — нанесение ворса на основу с помощью электростатического поля. Э. применяется в текстильной промышленности для изготовления заменителей дорогостоящих плательных, декоративных и технич. материалов; в бумажной пром-сти — обоев, переплетов, бархатной бумаги для нужд парфюмерного, ювелирного, пищевого, часового и оптич. произ-в. Э. используется при изготовлении звукоизоляц. материалов, резиновых, деревянных и бумажных игрушек и др.

В качестве основы могут служить ткани, бумага, кожа, резина, дерево, стекло, керамика, пластмассы, металл и др. В качестве ворса — шерстяные и вискозные волокна и др. материалы (напр., пыль из кожи, пробки, дерева, порошки металлов, слюды и др.). Хлопковое волокно применяется мало, т. к. образует на готовом изделии тусклую матовую поверхность. Шерстяное волокно идет в основном для изготовления звукоизоляц. материалов. Наибольшее распространение имеет вискозное штапельное волокно. Измельченное на отрезки длиной 0,2—0,5 *мм* и нанесенное с помощью электростатич. поля на основу, оно образует замшевую поверхность. При длине волокна 0,5—1,0 *мм* в процессе Э. получается имитация велюра, при длине 1,2—2,0 *мм* — материалы типа плюша, велюрета, бархата.

Осн. требования, предъявляемые к качеству ворса: равномерность по длине ($\pm 5\%$) и определ. влажность, равная 10—12%. При повыш. влажности ворс образует комки, забивает сита и нарушает процесс Э., создавая неравномерное распределение ворса по поверхности материала. Кроме того, ворс должен быть прямой, без изгибов и сукрутин, т. к. иначе он перестает обладать необходимой сыпучестью и также приобретает склонность собираться в комки. Технологич. схема произ-ва ворса дана на рис. 1.

Ворс закрепляется на основе клеящими веществами, к-рые обеспечивают прочное сцепление поверхности изделия с ворсом. Состав клеящих веществ зависит от материала основы, на к-рую наносится ворс. Однако во всех случаях клеящее вещество должно обладать хорошей липучестью, стойкостью к старению, необходимыми диэлектрич. св-вами, при высыхании образовывать прочные эластичные пленки, при высыхании или термич. обработке переходить в нерастворимое в воде состояние, быть безопасным в пожарном отношении и недорогим. Для ворсования могут использоваться клеящие вещества как

в виде термопластичных диспергированных продуктов, так и в виде растворов. Смолы в виде эмульсий (смолы из виниловых поли-

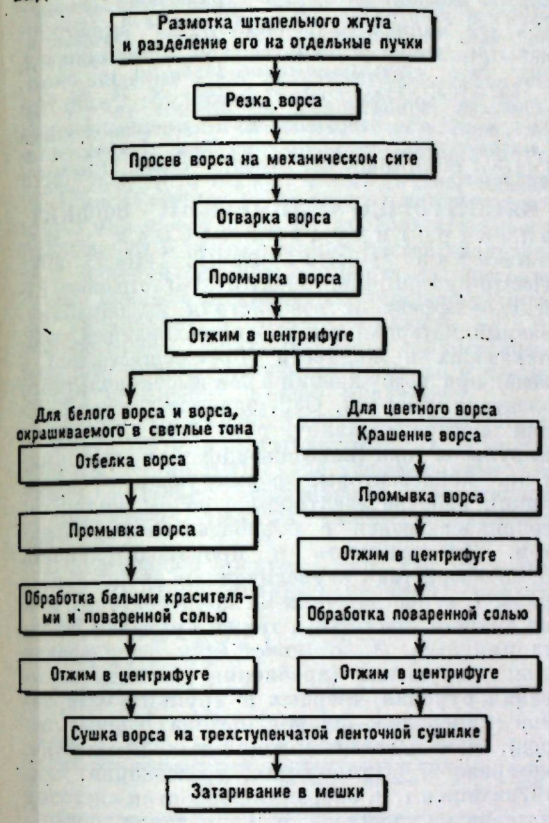


Рис. 1. Технологич. схема производства ворса.

меров, поливиниловый спирт, различного рода синтетич. латексы и др.) позволяют получать клеящие вещества в любой консистенции, образующие после высыхания нерастворимые пленки.

Клеи в виде растворов, применяемые гл. обр. при нанесении ворса на изделия из пластмасс, стекла, металла, керамики и т. д., представляют собой смолы, растворенные в к.-л. органич. растворителе (напр., БФ-2, БФ-4, БФ-6, 88 и др.).

Способ Э. состоит в том, что коротко нарезанные текстильные волокна, обладающие св-вами диэлектрика, при поступлении их из распределителя *1* (рис. 2) в электростатич. поле поляризуются и возникающие при этом пондеромоторные силы располагают волокна по силовым линиям поля. Кроме того, при контакте волокон с металлич. электродом *2* волокна приобретают заряды того же знака, что и знак заряда электрода. Благодаря избыточному заряду волокон в поле между электродами *2—3* на них действует кулоновская сила $F_к$, равная произведению напряженности поля E на величину заряда q. Она сообщает волокнам необходимую скорость перемещения ко второму электроду *3*, расположенному под непрерывно идущим материалом *4* (тканью, бумагой, резиной и пр.), поверхность к-рого смазана клеем.

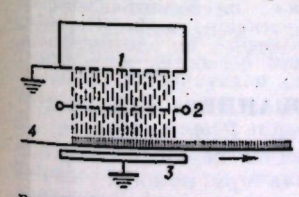


Рис. 2. Принципиальная схема процесса электроворсования.

Сила, направляющая волоконца в клей F и определяющая прочность закрепления его на поверхности материала, слагается из $F_к$, веса волокна G и силы сопротивления среды $F_{ср}$, являющейся ф-цией скорости перемещения волокон,

$$F=qE+G-F_{ср}.$$

Поскольку движущиеся волокна несут на себе избыточные заряды одного и того же знака, между ними действуют силы отталкивания, способствующие равномерному размещению волокон, что обеспечивает получение ворса одинаковой плотности, к-рой невозможно достичь к.-л. механич. способами. Благодаря такой равномерности при Э. удается приклеить до 1000 волоконец на 1 $мм^2$ материала.

Наиболее распространены способы Э., при к-рых волокна, образующие ворс, летят на материал снизу вверх или сверху вниз.

Установка, в к-рой волокна наносят снизу вверх, представлена на рис. 3. Волокна, поступающие через сито аппарата *1*, транспортной лентой *2* подаются в электростатич. поле, образованное системой электродов *8*, *5*, *9*. Электроды *8* и *9* в виде двух металлич. пластин заземлены, а к электроду *5*, представляющему собой металлич. сито с мелкими ячейками, подведено напряжение 40—100 *кв*. При вступлении в зону действия электростатич. поля волокна ориентируются в вертикальном положении и втягиваются в сетку *5*, проходя через к-рую, получают избыточный заряд и приобретают скорость движения к электроду *9*, необходимую для надежного закрепления на ткани, покрытой клеящим веществом. Излишки волокон поступают в волокносборник *3*. Клеевая пленка наносится на ткань устройством *4*, состоящим из клеевого бачка и ракли (тонкой металлич. пластины), устанавливаемой перпендикулярно или наклонно к поверхности ткани. После нанесения ворса ткань в зоне *6* просушивается, в зоне *7* очищается от избытка ворса, а затем наматывается на товарный валик *10*. Сушильное устройство *6* обычно представляет собой камеру, разделенную на неск. зон. В первой зоне сушилки темп-ра не должна превышать 100°С; в последующих зонах она постепенно повышается до 125—150°С. Такой ступенчатый тепловой режим позволяет избежать образования пузырей на поверхности изделия, к-рые получаются в случае быстрого нагрева

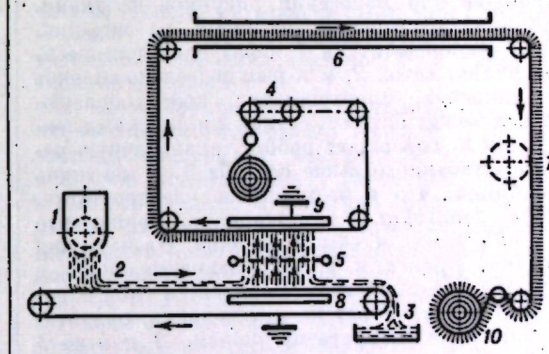


Рис. 3. Установка для нанесения ворса, в к-рой волокна движутся снизу вверх.

нанесенной на ткань клеевой массы до темп-ры кипения. Скорость прохождения материала при нанесении ворса 1—2 *м/мин*. Этот способ Э. требует высокой равномерности волокон ворса по длине, т. к. в противном случае действие электрич. сил на волокна не будет одинаковым, и на ткани образуются места с малой плотностью нанесенного волокна.

Установка для нанесения волокна сверху вниз (рис. 4) дает более ровную ворсовую поверхность и позволяет использовать печатное оборудование, применяемое в отделочном

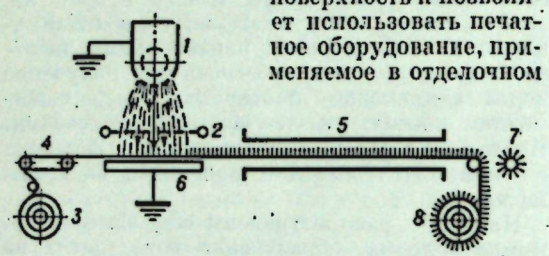


Рис. 4. Установка для нанесения ворса сверху вниз.

произ-ве для нанесения рисунков на ткани. Волокна насыпаются на ткань из механич. сита распределителя *1* через одну или неск. металлич. сеток *2*, к к-рым подведено высокое напряжение. Электростатич. поле, образующееся между ситом *1*, сеткой *2* и плоским электродом *6*, совершает работу, аналогичную работе описанного выше способа Э. с той лишь разницей, что в этом случае электростатич. поле действует в том же направлении, что и сила тяжести самих волокон. На материал (ткань, бумага и т. п.), разматываемый с рулона *3*, устройством *4* наносится слой клея, к-рый и закрепляет на нем волокна, ориентированные электростатич. полем. В камере *5* происходит высушивание клея, а готовый товар наматывается на товарный валик *8*. Недостаток этого способа — необходимость точной дозировки подачи волокон в электростатич. поле. При избыточной подаче, несмотря на имеющееся на машине щеточное устройство *7* для удаления излишков волокна, они все же частично остаются на материале и нарушают заданную плотность ворса. Если волокна поступают в меньшем объеме, то ворс получается недостаточной плотности.

Нанесение ворса в электростатич. поле можно производить на материал одновременно с двух сторон. Кроме того, методом Э. можно получать ворсовые ткани с рисунками в два или три цвета. В СССР распространение получило Э. текстильных штучных изделий (коврики, панно, скатерти, шторы и т. п.). Производство материалов с искусств. ворсом организовано в Румынии, ГДР, Австрии, Англии, США, ФРГ, Швейцарии, Японии и др. странах. Напр., австр. фирма «Рейзингер» разработала универс. машину для выработки гладких ворсовых материалов и материалов с многоцветными узорами с производительностью соответственно от 300 до 150 *м/мин*. Внешний вид электроворсовых тканей см. на вклейке.

Лит.: Лагов А. Ф., Нанесение ворса на текстильные и другие материалы в электростатическом поле, М., 1959; Бершев Е. Н., О физических основах электростатического ворсования, «Изв. Высш. учебных заведений. Технология легкой пром-сти», 1964, № 4; Рэдулеску Э., Электростатический метод производства плюша, «Текстильная пром-сть», 1957, № 12; Зубарев В. А., Ворсование деталей в электростатическом поле, «Бюл. техн.-экон. ин-та форм. АН СССР», 1958, № 6; «Text. World», v. 107, № 3, p. 148—49; «Бюл. Всес. н.-и. ин-та кого и текстильного машиностр.», 1957, № 1; Производство заменителей кожи в Германской Демократической Республике, [М.], 1957; «Reyon, Zellw. und and. Chemiefasern», 1955, H. 10, Oktober, S. 697—704; Lion P., «Rayonne et fibres synth.», 1957, № 4; «Text. Rundschau», 1955, Bd 10, № 8, S. 593—603; «Text. Recorder», 1957, v. 74, № 8, p. 54—56; «Fibres. Engng and Chem.», 1957, v. 9, № 4, p. 131—32; Производство искусственной кожи электростатическим способом, [М.], [1958]; Stiel K., Electrostatic deposition processes, «Electr. Engng», 1960, v. 79, № 4, p. 288 *В. П. Радченко*.

ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИЙ ЭФФЕКТ — электрогидравлическая обработка (electro-hydraulic effect; effet électro-hydraulique; elektro-hydraulischer Effekt),— эффект от воздействия на обрабатываемый материал импульсных давлений, возникающих в жидкости (преимущественно в воде) при возбуждении в ней высоковольтного электрич. разряда. Осн. элементы устройства для электрогидравлич. обработки: генератор импульсов тока (повышающий тр-р, выпрямители, конденсаторы, формирующие разрядники), рабочие электроды и объем жидкости, соприкасающейся с обрабатываемым объектом. Интенсивность и производительность Э. э. возрастают с увеличением энергии разряда, т. е. напряжения на конденсаторах и их емкости, частоты, а также крутизны фронта импульса. Э. э. может быть использован для: разрушения (дробления, помола, взрывания, бурения) твердых и хрупких материалов (минералов, шлаков, бетона, горных пород), измельчания волокнистых и пластичных материалов, штампования, прессования, вытягивания и т. п. операций обработки листовых материалов, наклепа и уплотнения поверхности металлич. предметов, очистки поверхности отливок от пригара, получения коллоидных растворов, эмульсий, суспензий, импульсной подачи жидкостей под высоким давлением и др. Примеры устройств для электрогидравлич. обработки: 1) установка для взрывания горных пород — мощность 20 *ква*, напряжение 5 *кв*, емкость конденсаторов 6300 *мкф*, энергия импульса 79000 *дж*; 2) то же — мощность 25 *ква*, напряжение 45 *кв*, емкость конденсаторов 48 *мкф*, энергия импульса 48000 *дж*; 3) электрогидравлич. дробилка — мощность 36 *ква*, напряжение 65 *кв*, энергия импульса 630 *дж*, частота 25—30 *гц*.

Лит.: Юткин Л. А., Электрогидравлический эффект, М.—Л., 1955; его же, Электрогидравлический эффект и некоторые возможности его применения, Л., 1959; его же, Электрогидравлическое дробление. (Стенограмма лекции), ч. 2, Л., 1961; Попилов Л. Я., Справочник по электрическим и ультразвуковым методам обработки материалов, М.—Л., 1963. *Л. Я. Попилов*.

ЭЛЕКТРОГЛАЗУРОВАНИЕ (electro-glazing; électro-émaillage; Elektroglasierung) — создание на поверхности керамич. изделий покровного слоя стекла при помощи электрич. поля *коронного разряда*; осуществляется путем зарядки частиц глазури потоком ионов короны (см. *Зарядка частиц*) и осаждения их на поверхности изделий силами поля (см. *Движение частиц*). Слой глазури закрепляется обжигом или, если осаждаются расплавленные частицы глазури, охлаждением.

Глазурь представляет собой тонкий стеклообразный слой — твердый раствор кремнезема и глиноземно-щелочных силикатов и окислов металлов (свинца олова, висмута и др.). При механич. методах глазурования

(окунание или обливание изделий водной суспензией глазури, нанесение слоя глазури пульверизатором или кистью) используется процесс впитывания влаги стенками изделий, благодаря чему слой обезвоженной глазури удерживается на поверхности изделий. При этом изделия должны иметь достаточную механич. прочность, равномерное и пост. водопоглощение, не размокать в воде; на поверхности изделия не допускается присутствие влаги, пыли и жира. Св-ва суспензии глазури (влажность, вязкость, консистенция и др.) при одной и той же продолжительности пребывания в ней отдельных частей глазуруемых изделий должны сохраняться постоянными. Процесс механич. глазурования трудно управляем, а предварительный, т. н. «бисквитный» обжиг (особенно тонкостенных изделий) сильно усложняет произ-во и увеличивает стоимость готовой продукции.

Процесс Э. лишен указанных недостатков и может быть автоматизирован. Э. осуществляется в аппарате, где сформованные керамич. изделия перемещаются относительно потока заряж. твердых частиц или капелек глазури.

В простейшем аппарате (рис.) из магазина запаса *1* отпрессованные керамич. плитки

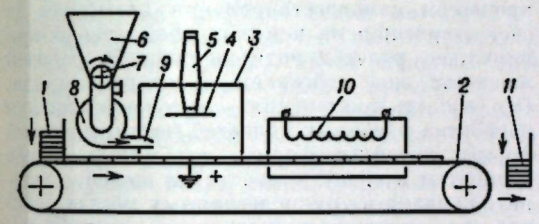


Схема процесса электроглазурования.

непрерывно подаются на конвейер 2, к-рый проходит через камеру *3*, снабженную коронирующим электродом *4*, закрепленным на изоляторе *5*. Порошок глазури из бункера *6* через дозатор *7* поступает в вентилятор *8*. Здесь образуется аэровзвесь, к-рая через сопло *9* направляется в межэлектродное пространство. Частицы глазури приобретают отрицат. электрич. заряд и притягиваются к поверхности плиток, образуя слой глазури. Поглазурованные изделия обжигаются в печи *10* и транспортным устройством *11* направляются на склад готовой продукции. Аппараты подобного типа имеют следующие параметры: напряжение между электродами 50—140 *кв*, скорость конвейера 1—5 *м/мин*, расстояние между электродами 150—300 *мм*, диаметр коронирующего привода 0,1—1 *мм*.

Э. характеризуется следующими данными: часовая производительность аппарата 60—300 $м^2$ глазуруемой поверхности, расход глазури (сухого порошка) 200—1600 $г/м^2$, толщина слоя глазури (после обжига) 0,1—2 *мм*, влажность глазури (порошка) 0,1—5%, концентрация аэровзвеси глазури 50—500 $г/м^3$, скорость движения аэровзвеси 0,5—1,5 *м/сек*, степень осаждения глазури 99,5—99,9%, расход электроэнергии на осаждение глазури 0,2 *квт-ч/т*, темп-ра обжига глазури 900—1400°С.

Производительность аппарата при заданной толщине и плотности слоя глазури зависит от скорости конвейера, концентрации и расхода аэровзвеси, величины поверхности глазуруемых изделий. Качество покровного слоя — от размера и формы частиц глазури, однородности состава покровного слоя и физико-химич. св-в глазури и массы керамич. изделий, а также от режима обжига и охлаждения. При этом необходимо, чтобы коэфф. термич. расширения глазури и массы изделий был одинаков. Для Э. применяются глазури, состоящие из неск. компонентов, различающихся физико-химич. св-вами и крупностью частиц. При электроосаждении частиц глазури не должна происходить их электросепарация. Это достигается путем подбора соответствующего направления и скорости перемещения глазуруемых изделий относительно потока заряж. частиц глазури.

Достоинства Э.: малый расход электроэнергии, высокая производительность при малых габаритах аппаратов и практически полное осаждение глазури при хорошей равномерности слоя покрытия. В результате Э. керамич. изделий повышается их механич. и электрич. прочность, коррозионная и абразивная устойчивость, обеспечивается газонепроницаемость слоя и достигается высокая декоративность. Нанесение Э. сухих порошков глазури исключает из технологич. процесса предварит. обжиг керамич. изделий, в результате достигается увеличение производительности и значит. экономич. эффект.

Э. возможно также осуществлять одновременно с обжигом керамич. изделий. Твердые частицы глазури во взвешенном состоянии плавятся, превращаясь в капельки стекла, к-рые заряжаются в электрич. поле и осаждаются на поверхности обжигаемых изделий [2]. Вместо глазури можно использовать твердые частицы плавней (сода, бура, поваренная соль и т. д.), к-рые при электроосаждении вступают в реакцию с поверхностным слоем обжигаемых изделий и образуют легкоплавкий поверхностный слой в виде стекловидной массы.

Распыление компонентов глазури в воздушной (газовой) среде происходит под действием механич. и электрич. сил (в результате отталкивания друг от друга одноименно заряж. частиц). Для этой цели применяются различные конструкции электрораспылителей (центробежные, пневматические, вибрационные и др., получившие назв. чашечных, лотковых, щелевых и др.).

В зависимости от формы глазуруемых изделий создаются различные конструкции аппаратов для Э. Если изделия имеют форму тел вращения, то при движении в электрич. поле их вращают для более равномерного нанесения слоя глазури. При покрытии внутр. и наружной поверхности изделий (изоляторы, санитарно-технич. изделия, хим. посуда и др.) вначале можно на рабочую поверхность формы нанести слой сухого порошка глазури, затем отформовать изделие и на его противоположную поверхность нанести слой глазури. Такой прием особенно эффективен при формовании методом литья. В этом случае отпадает необходимость в применении быстроизнашиваемых гипсовых форм, к-рые служат для отбора воды из керамич. шликера. При Э. воду впитывает сухой слой электроосажд. порошка глазури, нанесенный на поверхность металлич. формы. При этом жидкий шликер, отдав часть воды, превращается в упругую массу изделия. Таким способом на поверхности изделий можно наносить тонкий слой

порошка белой массы (ангоба), а затем глазури. Это позволяет использовать дешевое небеложгущееся керамич. сырье для выпуска белых и цветных глазурованных изделий. Аналогичным путем можно наносить сухие порошки различных керамич. красок. Способ дает значит. экономию краски при равномерной окраске изделий. При Э. удается избежать натеков глазури на изделиях, а процесс снятия глазури с отдельных участков (ножки, края и т. д.) вообще отпадает, т. к. при нанесении сухих порошков глазури легко закрыть участки съемными щитками, выполненными из диэлектрика; в этом случае потери глазури исключаются. Сухие порошки (в отличие от жидких глазурей) имеют преимущество еще и в том, что процесс становится безынерционным, т. е. в любое время аппарат Э. может быть включен или выключен; при применении же жидких глазурей после каждой остановки аппарат необходимо чистить и мыть, на что уходит много времени; кроме того, на процесс высушивания изделий, покрытых водной суспензией глазури, расходуется значит. количество тепла, в то время как сама глазурь готовится из сухих исходных материалов.

Э. жидкими суспензиями осуществляется путем пневматич. пульверизации; капельки глазури заряжаются в электрич. поле и осаждаются на поверхности изделий. Этот т. н. мокрый способ Э. имеет все преимущества, присущие *электроокрашиванию*.

Э. только начинает развиваться и требует дальнейших теоретич. разработок и совершенствования конструкции аппаратов. Э. может быть применено для произ-ва керамич. облицовочных материалов, санитарно-технич. изделий, фарфоровых, стеатитовых и др. изоляторов и т. п., а также для произ-ва электротехнич. изделий — сопротивлений, конденсаторов, печатных схем, ПП элементов и др.

Лит.: 1) Бут А. И., Дисковый электрический разделитель, М., 1959; 2) его же, Электроглазурование и новая технология производства облицовочных плиток, «Строительная керамика. Информ.-техн. сб.», 1960, № 1(5).

А. И. Бут.

ЭЛЕКТРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ (electrodynamic radiator; émetteur électrodynamique; elektrodynamischer Schallstrahler) — излучатель звука, устройство к-рого основано на взаимодействии проводника, обтекаемого перем. током, и пост. магнитного поля; широко используется для создания звуковых и УЗ колебаний (см. *Излучатель ультразвука*). Широкополосные Э. и. охватывают осн. диапазон частот, необходимый для воспроизведения речи и музыки (100—8000 *гц*), и широко применяются в радиоприемниках, телевизорах, установках звукового кино и диспетчерской связи. Кпд маломощных безрупорных Э. и. может составлять единицу %, у мощных рупорных Э. и. достигает 25%. Узкополосные (резонансные) Э. и. (кпд 20—50%) используются в гидроакустике и для излучения в воздух гл. обр. в экспериментальных установках. В воздушных Э. и. резонансной системой является сплошной металлич. цилиндр, выполненный из материала с малыми механич. потерями и колеблющийся по длине на резонансной частоте. С одного торца цилиндр возбуждается, другой является излучателем. При правильном выполнении таких Э. и. их добротность может достигать 20 000.

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., 2 изд., М., 1957; Фурдуев В. В., Электроакустика, М.—Л., 1948.

Л. Д. Розенберг.

ЭЛЕКТРОИМПУЛЬСНАЯ ОБРАБОТКА (electro-pulse machining; traitement par impulsions électriques; Bearbeitung mittels Elektroimpulsverfahren) — разновидность *электроэрозионной обработки* металлов, основная на применении дуговой формы разряда, электрич. метода генерирования, использовании униполярных импульсов тока длительностью более 10^{-4} сек. со скважностью 5, вырабатываемых независимыми электронно-ионными, машинными и магнитонасыщенными *генераторами импульсов сильного тока* в диапазоне мощностей от сотен *вт* до десятков *квт*. Э. о. осуществляется в индустриальном трансформаторном или соляровом масле, реже — в воде или керосине. Макс. скорость съема: по стали — до 15 000 *мм³/мин*, по твердому сплаву — до 120 *мм³/мин*. Макс. чистота поверхности по стали ▽5—▽6, по твердому сплаву ▽6—▽7. При обработке твердых сплавов используются ВЧ генераторы униполярных импульсов с малой скважностью. Относительный износ электрода-инструмента из углеграфитового материала марки ЭГ-0,05—0,3%. Малый износ объясняется гл. обр. процессом самовосстановления электрода за счет отложения на нем защитной пленки при пиролизе углеводородосодержащей рабочей жидкости под действием дугового разряда. Осн. область применения — трехкоординатная обработка фасонных полостей (штампы, пресс-формы, литейные формы, турбинные колеса и лопатки и т. п.), отверстий и щелей, сквозных прит. каналов в труднодоступных местах, калибров для периодич. проката и др., а также наплавка, покрытие и упрочнение. Пром-стью выпускается гамма универс. копировально-прошивочных станков для обработки изделий размером до 1000 × 1600 *мм*, а также спец. станки для обработки валков, извлечения сломанного инструмента, изготовления щелей и др.

А. Л. Лившиц.

ЭЛЕКТРОИСКРОВАЯ ОБРАБОТКА (electro-spark machining; usinage par étincelage électrique; Elektrofunkenbearbeitung) — размерная обработка и упрочнение материалов, основанные на применении искровой формы разряда, электрич. метода генерирования, использовании преимущественно несимметричных знакопеременных импульсов напряжения продолжительностью менее 10^{-3} сек. при скважности более 10, вырабатываемых гл. обр. зависимыми релаксационными или ВЧ тиратронными *генераторами импульсов сильного тока*; разновидность *электроэрозионной обработки* металлов. Диапазон мощностей — от десятков *вт* до неск. *квт*. Наибольшая скорость съема в пром. установках составляет: по стали — до 600 *мм³/мин*, по твердому сплаву — до 100 *мм³/мин*. Чистота поверхности (макс.) ▽7—▽8. Относит. износ электрода-инструмента из латуни или меди при обработке в среде керосина составляет: по стали 25—80%, по твердому сплаву более 100—150%. Это определяет область применения Э. о. в первую очередь на операциях, для к-рых возможно непрерывное возобновление электрода, напр. прошивание проволочным электродом отверстий малого диаметра, вырезка непрерывно перематывающимся проволочным электродом фасонных контуров

твердосплавных вырубных штампов и т. п. изделий; перемещение электрода в этом случае задается двухкоординатной системой программного управления или плоским копиром. Кроме того, этим способом осуществляется прецизионная обработка небольших деталей радиоэлектронной пром-сти, топливной аппаратуры, гравирование, клеймение, упрочнение, покрытие и др. Для выполнения указанных операций выпускаются универс. и спец. электроискровые станки.

А. Л. Лившиц.

ЭЛЕКТРОКОНТАКТНАЯ ОБРАБОТКА (electro-contact machining; traitement par contacts électriques; Elektrokontaktbearbeitung) — обработка металлов, основанная на применении дуговой формы разряда, механич. способе генерирования преимущественно симметричных знакопеременных импульсов (переменная полярность) длительностью до 10^{-2} сек., следующих с малой скважностью (менее 5); разновидность *электроэрозионной обработки* металлов. Ср. мощность установок составляет десятки и сотни *квт*. Скорость вращения электрода-инструмента 30—50 *м/сек*, среда обработки — воздух, реже — вода. Источник питания включается через понижающий тр-р с выходным напряжением до 40—45 *в*, при токе до 25000 *а*. Наибольшая достигнутая скорость съема по стали — до 10^6 *мм³/мин* (ок. 0,5 *т/ч*). Чистота поверхности вне класса. Относит. износ стального электрода-инструмента — доли процента. Осн. область применения — предварит. обработка крупных изделий из спецсплавов (обдирка слитков перед прокатом, снятие больших припусков после литья, черновая обработка крупных фасонных поверхностей типа лопастей гидротурбин). Пром-сть выпускает специализированные электроконтактные станки для обработки слитков (см. рис. на вклейке).

А. Л. Лившиц.

ЭЛЕКТРОКОПЧЕНИЕ (electrical curing, fumigation; fumage et saurissage électriques; elektrisches Räuchern) — способ копчения, при к-ром все стадии (операции), входящие в этот процесс, осуществляются с использованием электрич. энергии. Электростатическое копчение (напр., осаждение дыма на поверхности рыбы) — частный случай Э. Горячее копчение ведется в три стадии: подсушка, пропекание, собственно копчение. Источником тепла служит древесное топливо (дрова, опилки, стружки), к-рое, сгорая, дает дым. Наибольшее количество дыма образуется в третьей (последней) стадии, поэтому она и наз. собственно копчением.

При Э. процесс осуществляется также в 3 стадии, но при другом порядке их следования: подсушка, собственно копчение и пропекание. Подсушка и пропекание рыбы мелких и средних размеров производятся ИК излучателями, рыб крупных размеров (треска, сом, севрюга, осетр и др.) — токами ВЧ. Коптильный (древесный) дым представляет собой аэрозоль, состоящий из газообразной среды с твердой и конденсируемой дисперсными фазами. При Э. скорость осаждения дыма определяется двумя процессами: диффузионно-конвекционным (незаряжаемая часть дыма) и электрофорезом (заряжаемая часть дыма).

Скорость осаждения незаряж. частиц (молекулярного размера) дыма на объект копчения вычисляется по ф-ле:

$$V_1 = \Delta C/\delta, \qquad (1)$$

где Δ — коэфф. молекулярной диффузии частиц, C — концентрация частиц в дыме, δ — толщина слоя дыма у поверхности объекта копчения, где осуществляется молекулярная диффузия. При осаждении незаряж. частиц дыма на поверхность большое значение имеет разность темп-р дыма и поверхности (термофорез).

Если рыбе, как электроду, сообщить заряд и на нек-ром расстоянии от него расположить второй электрод противоположного знака и при этом создать между ними значит. разность потенциалов, то заряж. частички дыма приобретут направленное движение, и осаждение их на поверхность рыбы значительно ускорится. Скорость осаждения заряженных частиц:

$$V_2 = neE/6\pi\eta r, \qquad (2)$$

где e — элементарный электрич. заряд, E — напряженность поля, η — вязкость среды, r — радиус частицы, n — количество элементарных зарядов. Скорость осаждения коптильных веществ в электрическом поле составляет 0,180 *мг/см²* в мин., а при обычном копчении 0,005 *мг/см²* в мин.

Скорость осаждения дыма на рыбу в зависимости от величины напряжения показана на рис. 1. Оптим. значение напряжения для случая зарядки частиц дыма газовыми ионами и одновремен. осаждения их на поверхности рыбы составляет 50—55 тыс. *в* при расстоянии между электродами и рыбой 13—15 *см*. При одноврем. ионизации и осаждении частиц дыма не всегда удается полностью осадить коллоид. фазу. Если длина электродов менее 1,5 *м*, то обычно из дыма оседают на поверхность рыбы более крупные частицы ($r \geqslant 8\cdot10^{-4}$ *см*), а коллоидальные частицы ($r = 8\cdot10^{-4}$—$5\cdot10^{-6}$ *см*) в значит. количестве успевают выйти из зоны электростатич. поля. Это явление особенно распространено в установках, в к-рых происходит интенсивное движение частиц дыма под действием тяги или вентиляторов. В ряде случаев целесообразно предварительно заряжать частицы дыма, хотя это приводит к некрому увеличению размеров установки. После осаждения коптильных веществ на поверхность рыбы уже в стадии пропекания в результате термич. воздействия (ИК лучи, токи ВЧ) и др. факторов происходит полимеризация и высыхание нек-рых коптильных веществ, диффузия части коптильных веществ дыма с поверхности рыбы внутрь ее мышечной ткани.

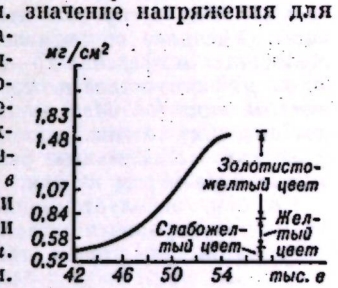


Рис. 1. Зависимость между напряжением и количеством осаждаемых коптильных веществ (продолжительность процесса 3 мин., расстояние между электродами 13,5 см).

Движение коптильных веществ с поверхности во внутр. слои рыбы характеризуется ф-лой:

$$Q_t = -\Delta\delta\Delta t, \qquad (3)$$

где Q_t — количество вещества, проникшего внутрь образца; Δ — коэфф. внутр. диффузии; δ — коэфф. термодиффузии; Δt — разность темп-ры между поверхностью и внутр. слоями рыбы. На рис. 2 приведены сравнит.

данные, характеризующие нагревание трески (2 *кг*) током ВЧ, ИК лампами и конвекц. способом (в обычной коптильной печи).

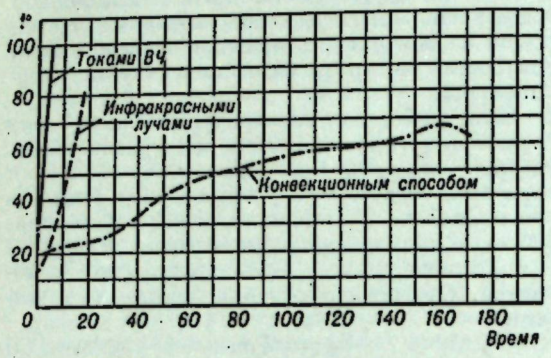


Рис. 2. Продолжительность нагрева трески при различных способах нагрева.

Как видно из графиков, прогревание наиболее быстро происходит при использовании токов ВЧ. Количество тепла, выделяемого в теле рыбы,

$$Q = 0{,}24 J^2 R\tau \qquad (4)$$

(J — плотность тока, R — сопротивление тканей рыбы, τ — продолжительность нагревания). Удельное сопротивление тканей рыбы колеблется в пределах 15—20 *ом/см* и зависит от ее химич. состава и строения. При оптим. частоте тока (15 *Мгц*) ионы солей и воды в рыбе движутся поступательно-возвратно по участкам очень малых размеров, соответствующих размерам клетки.

По осн. эксплуатационно-технич. показателям электрокоптильные установки более совершенны, чем другие (табл. 1). Их преимущества заключаются еще и в том, что в результате небольшой продолжительности процесса появляется возможность создать установки непрерывного действия и отказаться от тележек, рам, клетей и др. вспомогат. устройств, необходимых для кустарного произ-ва. Это упрощает конструкцию конвейера, облегчает создание механизмов для его обслуживания и перевод всего коптильного произ-ва на поток.

В электрокоптильных установках достигается равномерное копчение, т. к. размещение шомполов с рыбой в один ряд позволяет подводить к рыбе одинаковое, строго регламентированное количество тепла и дым. Последний потребляется в небольшом количестве, что дает возможность улучшить санитарные условия как в цехах рыбных пр-тий, так и в близлежащих насел. пунктах.

В табл. 2 приведены показатели, характеризующие качество копченых продуктов, приготовленных различными способами. Количество канцерогенных веществ в рыбе обычного копчения существенно больше, чем в рыбе горячего Э., ибо при обычном горячем копчении осн. количество дыма образуется при темп-ре выше 400°С, при к-рой в значит. количествах начинают выделяться тяжелые смолы, в т. ч. 3,4-бензпирен. Наиболее бедны коптильными веществами рыба, приготовленная с коптильной жидкостью, но вкус продукта значительно хуже (табл. 2).

В СССР используются электрокоптильные установки вертикального типа (рис. 3). Они представляют собой систему трех шахт, внутри к-рых расположен конвейер и спец. электрич. устройства. Рыба нанизывается на тонкие металлич. прутки (шомпола) и загружается на транспортер *1*. Она подсуши-

Таблица 1

Тип печи	Площадь, занимаемая установкой * (*м*²)	Общий объем печи (*м*³)	Продолжительность копчения (мин.)	Продолжительность оборота установки (мин.)	Производительность: кг/час	Производительность: кг/м² в час	Производительность: кг/м³ в час	Потребляемая мощность (*квт*)	Расход электроэнергии (*квт/кг*)	Расход топлива (*кг/кг*)
Камерная (ленинградский тип)	18	62	80	105	60	3	1	—	—	0,59
Фирмы Квернер—Брук (тоннельный тип, Норвегия)	63	158	80	90	440	7	3	15	0,04	0,78
Электрокоптильная (башенный тип, Киевский рыбокомбинат)	10	92	27	45 ** 65	150	15	2	200	0,84	0,84
Электрокоптильная (горизонтальный тип, ГДР)	23	81	43	46 ** 100	250	11	4	160	0,64	0,64
Электрокоптильная (горизонтальный тип, ВНИРО—НИКМРП)	16	65	—	—	140	9	2	130	0,93	0,93

* При подсчете площади и объема, занимаемых установками, учитывались не только их габариты, но и расположение подсобных устройств и приспособлений, имеющих непосредств. отношение к эксплуатации.
** Числитель — продолжительность пребывания рыбы в коптильной части установки, знаменатель — полный оборот установки вместе с охлаждением.

Таблица 2

Способ горячего копчения	Органолептическая оценка (в баллах): колер	запах	консистенция	вкус (вкусность)	всего	Химический состав: бромирующиеся вещества (*мг* на 100 *г*)	3,4-бензпирен	количество типов фенолов
Обычное (естественное)	3,5	4,5	3,5	7,5	19,0	4,03	8,5	14
Электрическое дым	3,8	3,8	4,1	7,4	19,1	3,41	3,1	6
коптильная жидкость	3,2	3,0	3,5	5,8	15,5	0,96	Следы	6

вается ИК лампами (или панелями) в камере *2* и попадает в дымовую шахту *3*. Дым из дымогенератора *4* в результате естеств. тяги попадает в зону электрич. поля высокого напряжения *5*, где происходит ионизация, зарядка частиц и осаждение дыма на поверхность рыбы. Затем рыба попадает вновь в шахту термич. обработки *6*, где в трех секциях ИК лампи происходит ее пропекание и сопутствующие процессы. Готовый к употреблению продукт попадает в третью шахту *7*, где охлаждается и в разгрузочном окне *8* снимается с шомполов. Процесс Э. весьма экономичен в результате сокращения расхода сырья и топлива.

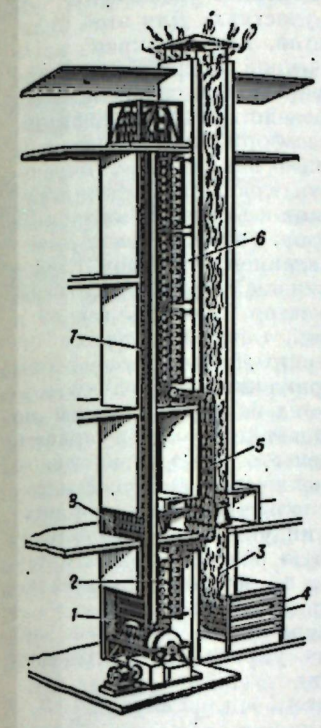


Рис. 3. Электрокоптильная установка вертикального типа.

Лит.: Воскресенский Н. А., Технология посола, копчения и сушки рыбы, 2 изд., М., 1958; Воскресенский Н. А., Лапшин И. И., Шапошникова А. В., Проблемы горячего копчения рыбы, М., 1958; Наука о коллоидах, под ред. Г. Кройта, пер. с англ., т. 1, М., 1955; Фукс Н. А., Механика аэрозолей, М., 1955.

Н. А. Воскресенский.

ЭЛЕКТРОЛИТИЧЕСКАЯ ВАННА (electrolytic tank; cuve électrolytique; elektrolytische Wanne) — устройство для электрич. *моделирования полей*. В осн. применяется для краевых задач, удовлетворяющих ур-нию Лапласа. Поле моделируется в электролите, представляющем очень слабый раствор солей, кислот или щелочей. Успешно используется и обычная водопроводная вода. Э. в. бывают объемные и плоские. Объемные выполняются из керамич. материалов, силикатного или органич. стекла. Плоские — в виде короба, в дно к-рого вставлен лист стекла. Для задания граничных условий служат металлич. электроды и изоляторы. В качестве изоляторов, предназначенных для выполнения граничных контуров области по заданной форме, применяется парафин или пластилин. При задании условий 1-го рода на электроды подаются напряжения, 2-го рода — токи, для чего электроды включаются на источник напряжения через очень большие сопротивления, 3-го рода — на электроды подаются напряжения через сопротивления конечной величины. Э. в. питаются от источника перем. тока для устранения поляризации — электролиза, нарушающего однородность электролита вследствие выделения пузырьков газа на электродах.

Решение краевой задачи получается в виде картины поля — совокупности линий поля, изображающих искомую ф-цию в заданной области. Для определения линий поля в Э. в. используются проволочные зонды, включенные в компенсац. измерит. схему. Простейшая схема анализатора поля строится так, что параллельно электродам Э. в. к источнику питания присоединяется делитель напряжения, соотношением сопротивлений плеч к-рого задается напряжение эквипотенциали, прослеживаемой зондом. Между выбранной точкой делителя и зондом включен нуль-индикатор. Точки равного потенциала находят по его показаниям и фиксируют на чертеже поля. Обычно поле измеряется на поверхности Э. в. Для точной фиксации координат точек поля, в к-рые устанавливается зонд, Э. в. снабжается координатной системой и устройствами для переноса линий поля на чертеж, помещаемый рядом с ванной. Координатное устройство выполняется в виде системы направляющих, напоминающей схему мостового крана, или в виде пантографа. Э. в. удобны для автоматизации анализа поля. Полная автоматизация достигается по принципу следящей системы, так что каретка с зондом передвигается ходовыми винтами по осям x и y и все время находится на заданной эквипотенциали. Нек-рые Э. в. снабжаются анализаторами поля, производящими над полученными из Э. в. данными дополнит. математич. операции, в результате чего, напр., зонды движутся по линиям, моделирующим траектории заряж. частиц (траектографы). Э. в., вследствие высокой однородности электролита, хороши в задачах, требующих определения градиентов поля. Последние измеряются двойными зондами в виде разности потенциалов зондов, отнесенной к расстоянию между ними.

С помощью системы электродов, расположенных на дне ванны, на Э. в. можно получить решение двухмерной задачи Пуассона и реализовать решение нестационарных краевых задач методом последовательных интервалов.

Лит.: Тетельбаум И. М., Электрическое моделирование, М., 1959; Дружинин Н. И., Метод электрогидродинамических аналогий и его применение при исследовании фильтрации, М.—Л., 1956.

И. М. Тетельбаум.

ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНОЕ ТАБЛО (electro-luminescent screen; tableau électroluminiscent; elektrolumineszierende Tafel) — сигнальный щит или панель, отображающие путем изменения состояния электролюминесцентных элементов, нанесенных на них в виде условных обозначений (символов, знаков, цифр, букв и др.), изменения контролируемых величин, состояний обслуживаемых объектов (машин, станков, аппаратов) или целых производственных систем и протекающих в них технологич. процессов. Э. т. монтируется на контрольных щитах, на пультах управления или отдельно. Устройство Э. т. зависит от выполняемой им ф-ции. Напр., существуют: Э. т. для отыскания должностных лиц; Э. т. сигнализации неисправности отдельных агрегатов или выхода из нормального режима группы однотипных параметров; Э. т. причин неисправностей или Э. т. — «советчик»,— рекомендующее оператору воздействовать на определенные органы управления; в строительстве применяется Э. т., информирующее о наличии и потребности материалов или транспортных средств; на железных дорогах устанавливаются автоматич. Э. т. со световой *мнемосхемой*, непрерывно отображающей движение поездов; в аэропорту Э. т. служит для

контроля отправления, местонахождения и прибытия самолетов. Цифровые, буквенные и знаковые Э. т. получили распространение в системах *информации представления* и в измерит. приборах в качестве цифровых индикаторов.

Свечение элементов Э. т. обусловлено явлением электролюминесценции, т. е. способностью нек-рых твердых тел светиться в переменном электрич. поле. Э. т. выполняется на стеклянном основании, на к-рое при темп-ре 400—600° С наносится (распылением двуокиси олова или др. материала) прозрачное токопроводящее покрытие (уд. сопротивление неск. десятков *ом/см*). На этот прозрачный электрод наносится слой фоновой краски нужного цвета (50—100 *мк*), на к-рой делают требуемый рисунок либо путем механич. снятия слоя фоновой краски до прозрачного электрода, либо фотохимич. способом (вытравливанием рисунка). Затем сплошь или в местах рисунка наносится тонкий равномерный слой (50—70 *мк*) диэлектрика с взвешенными в нем зернами электролюминофора (напр., лака ЭП-096 на основе эпоксидной смолы), к-рый затем просушивается в течение 30—60 мин. при темп-ре 100°С. После этого на диэлектрик в местах рисунка наносится слой второго (непрозрачного) электрода, представляющего собой какую-либо электропроводную краску (напр., дисперсное серебро или алюминиевую пудру с лаком ЭП-096, или металлич. слой, получаемый испарением в вакууме). Т. к. у всех световых элементов Э. т. прозрачный электрод — общий, то необходимо второй электрод каждого светового элемента нанести так, чтобы он не соприкасался с соседними во избежание одновременного зажигания неск. элементов при зажигании одного. Затем к непрозрачному электроду каждого элемента и к общему прозрачному электроду крепятся провода (приклейкой проводящим клеем). Наиболее удачен способ крепления проводников с помощью проводящей резины и разводной печатной платы, к к-рой обычным способом припаиваются проводники. Разработан многоштырьковый штеккер с проводящей резиной. Э. т. обычно герметизируется для предохранения от влаги, действие к-рой резко сокращает срок службы и надежность Э. т., вызывая пробои электролюминесцентного слоя. Для нанесения на табло электролюминофоров разных цветов (зеленого, голубого, синего, оранжевого или красного) свечения используются трафареты. Э. т. на органич. диэлектрике (текстолите, гетинаксе, стеклопластике) по сравнению с Э. т. на стеклянном основании прочнее, проще, дешевле, легче и тоньше. В Э. т. на металлич. основании в качестве диэлектрика используется силикатная эмаль. Для питания элементов Э. т. используется переменное или импульсное напряжение с частотой 400—500 *гц* и амплитудой 100—200 *в*. Яркость свечения Э. т. обычно не превышает 20 *нт*. Срок службы — 3000 ч. Напряжение электрического пробоя $V_{пр} \geqslant 1{,}5\ V_{раб}$.

А. И. Галактионов.

ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ ЭКРАН (electro-luminescence screen; écran électroluminescent; elektrolumineszierender Schirm) — плоская конструкция на основе электролюминесцентной панели (см. *Электролюминесцентный элемент*), служащая для воспроизведения сканированных изображений (см. *Сканирование*). Э. э. устроен т. о., что напряжение на отдельных участках слоя электролюминофора можно изменять независимо от напряжения на др. участках. Для этой цели, как один из вариантов, панель экрана изготовляют в виде точечной матрицы, в к-рой каждый участок изображения снабжен своим управляющим быстродействующим элементом, способным хранить информацию. На элемент подается управляющее напряжение, определяющее длительность хранения видеоинформации. На этом принципе устроены матричные Э. э. с сегнетоэлектрич. управлением и с индуктивно-индукц. управлением. В первом случае управляющее напряжение подается на сегнетоэлектрич. конденсатор, емкость к-рого и сопротивление перем. току, питающему отдельный элемент матрицы, зависят от величины управляющего напряжения; поскольку элемент матрицы и конденсатор включены по перем. току последовательно, то и яркость свечения будет зависеть от управляющего напряжения, определяемого видеосигналом. Во втором случае используются спец. ферритовые насыщающиеся индукц. преобразователи, в к-рые на первичную обмотку подается управляющий сигнал, а во вторичную включается элемент матрицы.

Более перспективны (и гораздо дешевле) Э. э. с пьезоэлектрич. управлением, имеющие непрерывную структуру. В таких Э. э. (рис.) используется пьезоэлектрич. слой цирконататитанита свинца, включаемый последовательно со слоем фосфора. С помощью управляющего напряжения в слое пьезоэлектрика создаются упругие волны, распространяющиеся в двух взаимно-перпендикулярных направлениях, в точке пересечения к-рых будет возникать макс. пьезоэлектрич. разность потенциалов, управляющая свечением фосфора.

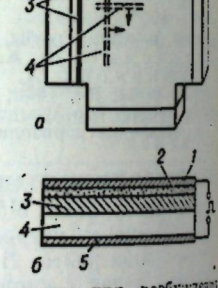


Схема экрана с пьезоэлектрич. управлением: *а* — общий вид [*1* — акустич. поглощающие выводы, *2* — базовый электрод (пластина), *3* — полосовые электроды для возбуждения упругих волн, *4* — упругие волны]; *б* — сечение [*1* — прозрачный электрод, *2* — фосфор, *3* — слой нелинейного сопротивления (для управления контрастностью), *4* — пьезоэлектрик, *5* — базовый электрод].

Разработка Э. э. ведется с целью создания простых и дешевых конструкций, заменяющих (а по ряду свойств значительно превосходящих) ЭЛТ любых конструкций (в т. ч. с применением *оптики волоконной*).

Лит.: Хениш Г., Электролюминесценция, пер. с англ., М., 1964.

М. М. Горшков.

ЭЛЕКТРОЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ ЭЛЕМЕНТ (electro-luminescent element; élément électroluminiscent; elektrolumineszierendes Element) — устройство для непосредственного преобразования электрич. энергии в световую с использованием явления электролюминесценции. Интенсивность свечения и его спектр (непрерывный с максимумом) существенно зависят от состава и способа приготовления электролюминофора, от напряженности и частоты электрич. поля, от темп-ры. В принципе Э. э. представляет собой слой электролюминофора, заключенный между двумя плоскими электродами, из к-рых по крайней мере один должен быть прозрачным (рис.). Обычно для этой цели используются порошкообразные фосфоры (на основе сульфида цинка, сульфида кадмия, фторида цинка и др.) в виде суспензии в органич. диэлектриках или в стекловидных керамиках. Среда, в к-рой взвешен электролюминофор, должна обладать высокой диэлектрич. прочностью, большой диэлектрич. проницаемостью, малыми потерями мощности; во всем рабочем диапазоне темп-р она должна быть химически устойчивой и инертной. Поверхностная яркость свечения слоя электролюминофора становится равномернее с увеличением его толщины (по сравнению с размерами зерен фосфора), но напряженность прилож. поля при этом уменьшается. При напряжениях 100—600 *в* толщина слоя составляет 25—100 *мк*. Прозрачные электроды изготовляются из проводящих стекол, непрозрачные — из металла или ПП.

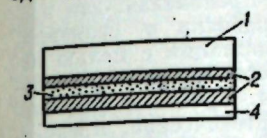


Схема электролюминесцентного элемента: *1* — основа конструкции (металл или стекло); *2* — прозрачные электроды; *3* — суспензия электролюминофора; *4* — защитное лаковое покрытие.

При достаточной механич. прочности основы Э. э. последний может иметь самые различные плоские формы и размеры, так что можно создать электролюминесцентные панели нужной площади (до 1,5 $м^2$). Обычно Э. э. и панели работают на частоте пром. тока (50 *гц*); при расходе мощности ~1 *вт* достигается поверхностная яркость $\sim 10^{-3}$ *сб*; яркость быстро растет с увеличением напряжения.

Э. э. и панели используются в качестве источников света, к-рые обладают рядом преимуществ по сравнению с обычными лампами накаливания: свет излучается равномерно с большой поверхности любой формы (это существенно при использовании в индикаторных и сигнальных системах); цвет свечения легко изменять, если пользоваться составной конструкцией из неск. наложенных одна на другую прозрачных панелей с различными фосфорами; после первонач. периода установления (≃2000 ч.) яркость электролюминесцентных источников света (при данном напряжении) становится практически неизменной при сроке службы до 40 000 часов.

Э. э. используются также в *оптронах*; принцип действия Э. э. лежит в основе *усилителей света и изображений*.

Лит.: Хениш Г., Электролюминесценция, пер. с англ., М., 1964.

М. М. Горшков.

ЭЛЕКТРОМАШИННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ (rotary amplifier control of electric drives; commande par machine éléctrique d'un entraînement electromécanique; elektromaschinelle Steuerung eines Elektroantriebs) — управление электроприводом с исполнит. электродвигателями пост. тока, питаемыми от одного или неск. генераторов пост. тока (см. *Генератор-двигатель система*) с использованием электромашинных усилителей продольного (рототрол) или поперечного (амплидин) поля.

Лит.: Куницкий Н. П., Электромашинное управление реверсивными прокатными станами, М., 1957; Андреев В. П., Сабинин Ю. А., Основы электропривода, М.—Л., 1963.

ЭЛЕКТРОНИКА (electronics; electronique; Elektronik) — область науки и техники, охватывающая изучение и применение электронных и ионных явлений, протекающих в вакууме, газах, жидкостях, твердых телах и плазме, а также на их границах. Э. состоит из двух основных разделов: 1) физической Э., предметом к-рой являются теоретич. и эксперимент. исследования электронных и ионных явлений, принципы построения электронных и ионных приборов, устройств и установок, принципы получения, преобразования и передачи электрической энергии с помощью электронных приборов и устройств, механизм воздействия потоков электронов, ионов, квантов и электромагнитных полей на вещество; 2) технической (прикладной) Э., предметом к-рой является теория и практика применения электронных и ионных приборов, устройств, систем и установок в различных областях человеч. деятельности — науке, пром-сти, связи, сельском х-ве, строительстве, транспорте и др.

Электронные приборы и устройства занимают центр. место в Э.: являются прямыми или косвенными объектами исследований в физич. Э.; служат основными элементами при инженерных разработках в технич. Э. Физич. явления, связанные с движением электронов, но не реализованные в электронных приборах (напр., β-распад, космич. лучи, распространение радиоволн и др.), относятся не к физич. Э., а к соответствующим разделам физики (в частности, радиофизики). Аналогично электрич. аппаратуру, даже содержащую отдельные электронные узлы в качестве вспомогательных, но в принципе не основанную на св-вах электронных приборов (напр., электромашинный усилитель, магнитный усилитель, шлейфовый осциллограф и др.), относят не к технич. Э., а к соответствующим разделам прикладной электротехники (в частности, к электроприборостроению). В то же время *электронная эмиссия*, *ионизация*, инверсная населенность энергетич. уровней, туннельный эффект в вырожденных ПП, фокусировка электронных пучков и т. п. относятся к физич. Э., а электронолучевые *осциллографы*, рентгеновские установки, электронные *вычислительные машины*, радиолокаторы, анализаторы энергетич. спектров частиц, ртутные преобразователи и т. п. — к технич. Э.

Зарождению Э. предшествовало открытие электрич. дуги (1802), *тлеющего разряда* в газах (1850), катодных лучей (1859), изобретение лампы накаливания (1873) и др. Однако как самостоят. область науки и техники Э. начала развиваться в конце 19 — нач. 20 вв. после открытия *термоэлектронной эмиссии* (1883) и фотоэлектронной эмиссии (1888) и разработки *электронолучевой трубки* (1897), вакуумного *диода* (1904), вакуумного *триода* (1907), кристаллич. *детектора* (1900—05). Изобретение радио (1895) стимулировало прогресс и оказало решающее влияние на дальнейшее развитие Э. особенно в период 1913—20. В 1933—35 начали использовать в пром-сти тепловые действия токов ВЧ для целей индукц. нагрева металлов и сплавов и емкостного (диэлектрического) нагрева ПП материалов. Во время 2-й мировой войны (1939—45) большую роль в становлении Э. сыграла радиолокация. Нерадиотехнич. Э. сыграла

применения электронных приборов длительное время развивались под сильным влиянием радиотехники, из к-рой для них были заимствованы осн. элементы, схемы и методы. Дальнейшее развитие нерадиотехнич. приложений Э. пошло по самостоятельным направлениям, особенно в области ядерной техники (с 1943), *вычислительной техники* (с 1949) и массовой автоматизации производств. процессов. С начала 50-х гг., после изобретения *транзистора*, начался расцвет полупроводниковой Э., к-рая позволила удовлетворить возросшие требования к надежности, экономичности и габаритам сложных электронных устройств и в частности обеспечила развитие нового раздела теоретической и прикладной Э.— микроэлектроники (см. *Пленки полупроводниковые*, *Твердая схема*).

Степень внедрения электронной аппаратуры в различные области человеч. деятельности — критерий совр. технич. прогресса, т. к. Э. позволяет резко повысить производительность физич. и умств. труда, улучшить экономич. показатели произ-ва, а также решать задачи, к-рые неразрешимы др. средствами. Электронные приборы и устройства по сравнению с механич., электромеханич., пневматическими и др. позволяют на много порядков повысить скорость реакции (в частности, скорость переработки информации), обладают значит. чувствительностью к малым сигналам, обеспечивают исключит. гибкость и универсальность отдельных функциональных блоков, не содержат подвижных частей и, как правило, имеют значительно меньшие габариты и вес. Скорость реакции совр. электронных устройств характеризуется временем нарастания импульсов до 10^{-10} сек. и рабочими частотами (в лазерной технике) более 10^{14} *гц*. Чувствительность к электрич. сигналам при непосредств. измерениях доходит до 10^{-16} *а*, 10^{-25} *вт* и ограничивается собств. шумами приборов и деталей; при косвенных измерениях регистрируется пролет отдельных заряженных частиц и ограничение накладывается фоном естеств. радиации. Электронная аппаратура универсальна и гибка, т. к. одни и те же узлы (усилители, триггеры, генераторы и др.) могут использоваться для решения самых различных задач в совершенно разнородных областях, а параметры узлов и устройств (коэфф. усиления, выходные напряжения, рабочие частоты, уровни срабатывания) регулируются в широких пределах простейшими средствами, что позволяет разрабатывать и использовать унифицированные стандартные блоки (в будущем пленочные и твердосхемные), сочетание к-рых может обеспечить выполнение различных ф-ций в различных областях применения.

Технич. (прикладную) Э. можно классифицировать по областям применения электронной аппаратуры, рассматривая самостоятельно радиоэлектронику, промышленную Э., транспортную, медицинскую, геологическую, ядерную и др. Отличит. особенность радиоэлектроники — старейшей отрасли технич. Э.—использование электронных устройств для передачи и приема электромагнитных колебаний в широком диапазоне частот (радиосвязь, радиолокация, телевидение и др.). Пром. Э. охватывает разработку и применение электронных приборов в сфере пром. произ-ва.

Устройства и системы, характерные для технич. Э. (в частности, для комплекса средств Э.), можно разделить на три основных класса: 1) информационные, предназнач. для восприятия и сбора, переработки и хранения, передачи и приема информации с целью измерения, контроля и воздействия на исполнит. органы, технологич. процессы или биологич. объекты; 2) энергетические, предназнач. для получения, преобразования и передачи электрич. энергии, и 3) технологические, предназначенные для непосредств. воздействия потоков частиц или электромагнитных полей на вещество с целью механич., термич. и хим. обработки материалов или изделий. Любая крупная электронная установка, используемая в пром-сти, обычно сочетает в себе все три классов устройств, но последние различаются по структуре, типам используемых электронных приборов и элементов, а также методам проектирования. Поэтому полезно рассматривать каждый класс устройств самостоятельно, выделяя соответствующие разделы технич. Э.: *информационную электронику*, *энергетическую электронику* и *технологическую электронику*. *И. П. Степаненко.*

Информационная электроника. К электронным устройствам для извлечения и сбора первичной информации относятся электронные *датчики* и преобразователи. По сравнению с др. типами датчиков они обладают теми же преимуществами, что и электронные приборы вообще: быстродействием, отсутствием подвижных частей, повышенной надежностью, практически неограниченной дальностью передачи и высокой чувствительностью. Некоторые электронные датчики (напр., фотоэлектрические) не имеют аналогов среди др. типов датчиков в отношении физич. величины, на к-рую они реагируют. Электронные датчики и преобразователи могут применяться в сочетании с др. элементами — механич., электромеханич., пневматическими и др.

Главными типами электронных датчиков и преобразователей являются: датчики электронные (а также ионные) с механич. управлением (*механотроны*), датчики электронные с магнитным управлением, датчики фотоэлектрические, датчики радиационные температурные и световые, датчики термопарные, датчики и камеры ионизационные, счетчики пропорциональные, Гейгера—Мюллера, сцинтилляционные и люминесцентные, *солионы* (хемотроны), *датчики пьезоэлектрические*, на основе эффекта Холла и *датчики емкостные* полупроводниковые, датчики плазменные, зондовые электронные, магнитные, микроволновые и спектроскопические, преобразователи электронные для преобразования сигналов одного вида тока в сигналы др. видов тока, в частности в унифицированный сигнал, преобразователи электронно-гидравлические (для связи с гидравлич. устройствами), электронно-пневматические и электронно-механические.

К электронным устройствам для передачи контрольной и командной информации относятся как совр. многоканальные системы непрерывной и дискретной передачи информации, так и нек-рые более старые системы, в основном одноканальные, подвергшиеся модификации с использованием средств электроники. Простейшие типы многоканальных систем контрольной и командной информации с

амплитудной, частотной и фазовой *модуляцией*, с передачей одной боковой полосы амплитудной модуляции, с относит. фазовой модуляцией, с *модуляцией амплитудной импульсной*, с *модуляцией широтной импульсной*, с *модуляцией временной* и *модуляцией кодовой импульсной*, с импульсно-временным кодом.

Значительно совершеннее и удобнее многоканальные системы передачи контрольной и командной информации, использующие принцип двухступенной модуляции. Модуляция в первой ступени применяется для формирования собственно многоканального группового сигнала; пусть для примера это будет система одной боковой полосы амплитудной модуляции. Во второй ступени применяется единая несущая частота, значительно более высокая, чем частоты первой ступени; колебания второй ступени подвергаются той или иной модуляции, скажем, частотной, всем групповым сигналом первой ступени. Т. о. образуется двухступенная модуляция, к-рую для краткости обозначают ОБП—ЧМ. Аналогично могут быть построены системы ШИМ—АМ, КИМ—ЧМ и десятки др., применяемых в практике. К электронным одноканальным системам относятся: потенциометрич. передачи пост. тока, самобалансируемые дистанц. передачи пост. тока на основе эффекта Холла, дистанц. мостовые передачи перем. тока, электронно-оптические устройства телеизмерения и телеуправления.

Электронные устройства для хранения и переработки контрольной информации и выдачи командной информации созданы на основе достижений современной вычислит. техники. К ним относятся электронные вторичные приборы контроля технологич. процессов (показывающие, регистрирующие, счетные индикаторные — см. *Регистрация автоматическая*); электронные регулирующие (непрерывные и дискретные) устройства (см. *Управляющее устройство*), в т. ч. экстремальные и многоканальные *оптимизаторы*, а также блоки функциональные (суммирования, возведения в квадрат, извлечения корня, интегрирования, дифференцирования, умножения, деления, логарифмирования и антилогарифмирования — см. *Вычислительная машина*) и логические («и», «или», «не» — см. *Логическая машина*); электронные информационные и счетно-перфорац. машины для автоматизации процессов хранения, поиска и логич. обработки больших объемов производственной (в т. ч. технико-экономич. и счетно-финансовой) информации (см. *Информационная машина*); электронные моделирующие машины для *моделирования производственных процессов*; электронные (аналоговые и цифровые) специализиров. вычислит. машины для пуска, остановки и аварийной сигнализации (см. *Аналоговая вычислительная машина*, *Цифровая вычислительная машина*).

К электронным устройствам, использующим командную информацию для воздействия на машины, процессы и биологич. объекты, относятся блоки *усилителей мощности*, блоки *выпрямителей* и демодуляторы (см. *Детектор*), электронные позиционеры, электронные управляемые генераторы, различные акустич. и световые сигнальные устройства, а также приборы, управляющие исполнит. устройствами с электронными и ионными управляемыми приводами. Электронные устройства, использующие командную информацию, обычно применяются в сочетании с электромеханич., пневматич., гидравлич. и механич. элементами.

Существенное значение для развития и применения средств информационной Э. будет иметь создание и внедрение в сов. народное х-во Государственной системы приборов и средств автоматизации (ГСП) — системы максимально унифицированных блоков, приборов и устройств, имеющих стандартизированные параметры входных и выходных сигналов, нормализованные габариты, присоединительные размеры и параметры питания. ГСП с ее прогрессивным принципом блочно-модульного построения приборов и устройств должна обеспечить полную взаимозаменяемость и гибкость комплектации, а также конструктивную унификацию деталей, узлов и модулей, позволяющую получить на базе сравнительно небольшого количества элементов большое количество типов приборов и устройств. Поэтому устройства информационной Э. по конструктивным признакам классифицируются след. обр.: электрич. деталь — простейшая конструктивная часть, предназнач. для выполнения одной определенной ф-ции в электрич. цепи (напр., сопротивление, провод, конденсатор); модуль (микромодуль) — наименьшая типовая, легкосменяемая конструктивная часть, объединяющая ряд деталей и узлов и представляющая определ. функциональную часть блока или устройства (может состоять и из одного узла, напр. триггер); блок — конструктивно оформленная отдельная часть устройства, удобная для производства, монтажа и эксплуатации, состоящая из модулей (микромодулей), деталей и узлов (напр., аналого-цифровой преобразователь, усилитель мощности и др.); прибор (устройство) — совокупность блоков, модулей и узлов, объединенных в виде единой конструкции, имеющей общее основание (шасси) и общий защитный корпус, предназначенная для выполнения определ. ф-ций (напр., прибор контроля, регулирующее устройство); система (установка) — совокупность приборов (устройств), блоков, модулей и отдельных узлов, самостоятельно осуществляющая автоматич. контроль, регулирование или управление.

Лит.: Управление и измерение на расстоянии. Сб. ст., пер. с англ., под ред. С. В. Алексеева и А. В. Лебедева, ч. 1, М., 1957; Типугин В. Н., Вейцель В. А., Радиоуправление, М., 1962; Передача цифровой информации. Сб. ст., пер. с англ., под ред. С. И. Самойленко, М., 1963; Цыкин Г. С., Электронные усилители, 2 изд., М., 1963; Степаненко И. П., Основы теории транзисторов и транзисторных схем, М.—Л., 1963; Кэрролл Дж., Полупроводниковые схемы для новой техники, М., 1964; Реймон Ф., Автоматика переработки информации, пер. с франц., М., 1961; Скотт Н. Р., Техника аналоговых и цифровых вычислительных машин, пер. с англ., М., 1963; Тю Ю. Т., Цифровые и импульсные системы автоматического управления, пер. с англ., М., 1964. *Д. С. Гафанович, Г. А. Левин.*

Энергетическая электроника — охватывает два основных направления: а) превращение физич. форм первичной энергии (тепловой, ядерной, световой) непосредственно в электрическую, минуя промежуточное получение механич. энергии; б) преобразование с помощью электронных приборов электрич. энергии из одного ее вида в другой (пост. ток, перем. ток большой мощности). Получение ВЧ и СВЧ энергии, ее концентрация и передача играют самостоятельную роль в области преобразования энергии.

Осн. типы электронных источников электрич. энергии: тепловые (магнитогидродинамические, термоэлектронные, термоэлектрические генераторы); ядерные (на основе реакции деления или реакции синтеза); световые (на основе внешнего фотоэффекта, внутр. фотоэффекта или фотоэффекта в запирающем слое — см. *Фотоэффект*, *Фотоэлемент с внешним фотоэффектом*). В соревновании с классич. двухступенчатым способом превращения тепловой энергии сначала в механическую, а затем в электрическую (система котел — турбина — генератор), совершенствование электронных источников электрич. энергии направлено к увеличению их кпд, снижению веса, габаритов и стоимости установок. Понижение рабочей темп-ры теплоносителя, увеличение кпд, уменьшение веса и объема открывают перед ними перспективы преимуществ. применения на подвижных объектах с использованием тепла, получающегося при работе первичных двигателей.

Осн. типы электронных преобразователей электрич. энергии: *выпрямители* (неуправляемые и управляемые), *стабилизаторы* (параметрические и компенсационные), инверторы (зависимые, независимые или автономные — см. *Инвертор автономный*), преобразователи постоянного тока (с промежуточным звеном ВЧ и импульсные), *преобразователи частоты* (с промежуточным звеном пост. тока явно выраженным, не явно выраженным, промежуточным звеном ВЧ, с непосредств. преобразованием), генераторы мощных импульсов тока (с пост. или перем. током на входе).

Совершенствование электронных преобразователей электрич. энергии направлено: к улучшению систем управления с целью повышения быстродействия, увеличению коэфф. мощности, расширению функций преобразователей; к постепенной замене ртутных и др. газонаполненных приборов мощными полупроводниковыми с более высоким кпд, меньшими габаритами, простой эксплуатацией; к увеличению коэфф. мощности выпрямителей и зависимых инверторов путем создания схем искусств. коммутации и использования спец. методов управления; к разработке и внедрению независимых инверторов и статич. преобразователей частоты.

ВЧ преобразователи охватывают приборы и устройства, служащие для получения ВЧ (сотни *кгц* — десятки *Мгц*) и СВЧ (сотни *Мгц* и выше) энергии, ее концентрации в малых объемах (с целью интенсивного подвода тепла к различным объектам, ускорения элементарных частиц, создания, нагревания и удержания плазмы и др.) и передачи энергии на расстояние. Достигнуты успехи в области разработки электронных приборов СВЧ, основанных на использовании магнитного поля и позволяющих генерировать мощные пучки СВЧ энергии (магнетрон, планотрон), преобразовывать СВЧ энергию в пост. ток, получать мощные пучки быстрых электронов, ионов, фотонов (см. *Лазеры*).

Лит.: Алексеев Г. Н., Непосредственное превращение различных видов энергии в электрическую и механическую, М.—Л., 1963; Каганов И. Л., Электронные и ионные преобразователи, ч. 3, М.—Л., 1956; Ривкин Г. А., Преобразовательные установки большой мощности, 2 изд., М.—Л., 1959; Лившиц А. Л., Рогачев И. С., Генераторы периодических импульсов сильного тока, М.—Л., 1959; Капица П. Л., Электроника больших мощностей, М., 1962; Электроника больших мощностей. [Сб. ст.], М., 1963.

В. А. Лабунцов.

Технологическая электроника — см. *Электронно-ионная технология*.

(Разработку плана и основных положений ст. *Электроника* осуществили *И. П. Сте…*, *М. Г. Лозинский*, *В. А. Лабунцов*, *Г. А. …*, *А. Л. Лившиц*, *Д. С. Гафанович*, *А. В. Яро…*)

ЭЛЕКТРОННАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА, ЭВМ (electronic computer; calculatrice éléctronique; elektronische Rechenmaschine) — вычислительная машина, в к-рой электронные приборы (электронные лампы, транзисторы, ферритовые сердечники и т. п.) являются осн. схемными элементами. По сравнению с другими вычислит. машинами (механическими, электромеханическими, пневматическими и др.) ЭВМ более компактны, обладают бо́льшим быстродействием, потребляют меньше энергии, удобнее сопрягаются с внешними источниками информации и между собой для совместной работы.

В зависимости от типа электронных приборов, положенных в основу схем, ЭВМ называют ламповыми, полупроводниковыми и т. д. (см. *Физические элементы вычислительной техники*). Различают ЭВМ аналоговые (см. *Аналоговая вычислительная машина*), цифровые (см. *Цифровая вычислительная машина*) и комбинированные (см. *Комбинированная вычислительная машина*).

И. А. Данильченко.

ЭЛЕКТРОННАЯ ОПТИКА (electron optics; optique éléctronique; Elektronenoptik) — раздел физики, в к-ром изучается формирование, фокусирование и отклонение электронного пучка (или других заряженных частиц) электрическим, магнитным и электромагнитным полями.

В структуре Э. о. различаются три направления: 1) геометрич. Э. о., к-рая оперирует с дискретными траекториями — аналог световой геометрич. оптики [геометрич. Э. о. представляет собой приближение волновой оптики, к-рое тем более справедливо, чем меньше длина волны света по сравнению с размерами конструктивных элементов (диафрагм, экранов и т. п.), определяющих процессы распространения волн; законы геометрич. Э. о. нарушаются в областях, где плотность электронов сильно изменяется, напр. на границах пучка электронов, в точках схождения пучков электронов и т. д.]; 2) раздел, в к-ром комбинируются понятия о луче и длине волны (полуклассич. объяснение явления интерференции посредством введения пространств. периодичности); 3) волновая механич. Э. о., в к-рой не существует представления о траектории и длине волны; в качестве ее аналога можно рассматривать электромагнитную теорию света. Основные различия световой и Э. о.: между отдельными частицами в пучками заряженных частиц, в отличие от световых лучей, существует взаимодействие; в Э. о. возможна т. н. фазовая фокусировка электронных пучков, осуществляемая с помощью ВЧ полей, к-рой нет в световой оптике, а показатель преломления линз изменяется непрерывно и может быть очень велик. Э. о. не рассматривает методы получения свободных электронов или ионов, а также теорию взаимодействия электронов с веществом.

В этой статье рассматриваются вопросы преимущественно геометрич. Э. о., необходимые при создании электронных приборов.

При конструировании электроннолучевых трубок создается возможно тонкий луч. Отклоняющая система трубки должна обладать высокой чувствительностью. Отклонение луча должно быть прямо пропорционально величине отклоняющего напряжения. При отклонении должна сохраняться фокусировка луча. При разработке фотоумножителей (см. *Электронный умножитель*) для последоват. фокусировки электронов могут использоваться электрич. и магнитные поля и Э. о. помогает определить оптимальную конфигурацию вторичных эмиттеров, а также напряженность поля для достижения максим. усиления фототока. Фокусировка в *электронных микроскопах*, осуществляемая электростатич. или магнитными линзами, обеспечивает создание неискаженного изображения очень малых объектов при увеличении 100 000 раз и свыше. В *электроннооптических преобразователях* создают систему, позволяющую получать без искажения изображение сравнительно большого предмета при малом увеличении. Основные положения Э. о. также используются при разработке различных ускорителей — циклотронов, бетатронов, синхротронов, линейных ускорителей и др. В циклотронах формирование пучка ионов и управление ими осуществляется с помощью пост. магнитного и ВЧ электрич. полей. Фокусировка электронов в бетатроне осуществляется магнитным полем, изменяющимся вдоль радиуса полюсных наконечников. В синхротроне наряду с магнитной фокусировкой используется и электромагнитная. В приборах СВЧ особое внимание уделяется формированию длинных электронных лучей с большой плотностью тока, на фокусировку которых сильно влияет пространств. заряд. Методы формирования и фокусировки электронных лучей используются во многих конструкциях *ламп приемно-усилительных*.

Основными элементами электроннооптич. систем служат электростатич. и магнитные линзы. Электрич. поле, обладающее осевой симметрией, служит для заряженных частиц линзой в оптич. смысле. Это же относится и к магнитному полю. Простейшая аксиально-симметричная линза образуется диафрагмой с круглым отверстием, помещенной в электрич. поле. Диафрагма должна с одной или с двух сторон граничить с однородным электрич. полем. Примеры собирающих и рассеивающих электронных линз, образованных диафрагмой с отверстием, показаны на рис. 1, *а*, *б*. Фокусное расстояние диафрагмы

$$f = \frac{4U_2}{E_2 - E_1},$$

где $E_1 = \frac{U_2}{d_1}$ и $E_2 = \frac{U_3}{d_2}$ — напряженности поля слева и справа от диафрагмы; $U_{2,3}$ — потенциал элетрода. При $E_2 > E_1$ диафрагма будет собирающей линзой, а при $E_2 < E_1$ — рассеивающей. Диафрагма обычно используется как составная часть более сложных линз. Иммерсионная линза (рис. 1, *в*) характеризуется различными значениями потенциалов диафрагм и отсутствием поля слева и справа от нее. Для одиночной линзы (рис. 1, *г*) характерно отсутствие поля и равенство потенциалов слева и справа за ее пределами. Диафрагма, расположенная перед плоским катодом, служит простейшим иммерсионным объективом. Эта система рассеивает электроны. Схема собирающего иммерсионного объектива показана на рис. 1, *д*. Источник электронов — катод *К* «погружен» в электрич. поле. Ближайший к катоду электрод — модулятор *М*

имеет обычно отрицат. относительно катода потенциал и служит для управления интенсивностью электронного потока. Далее расположен ускоряющий электрод *У* или анод,

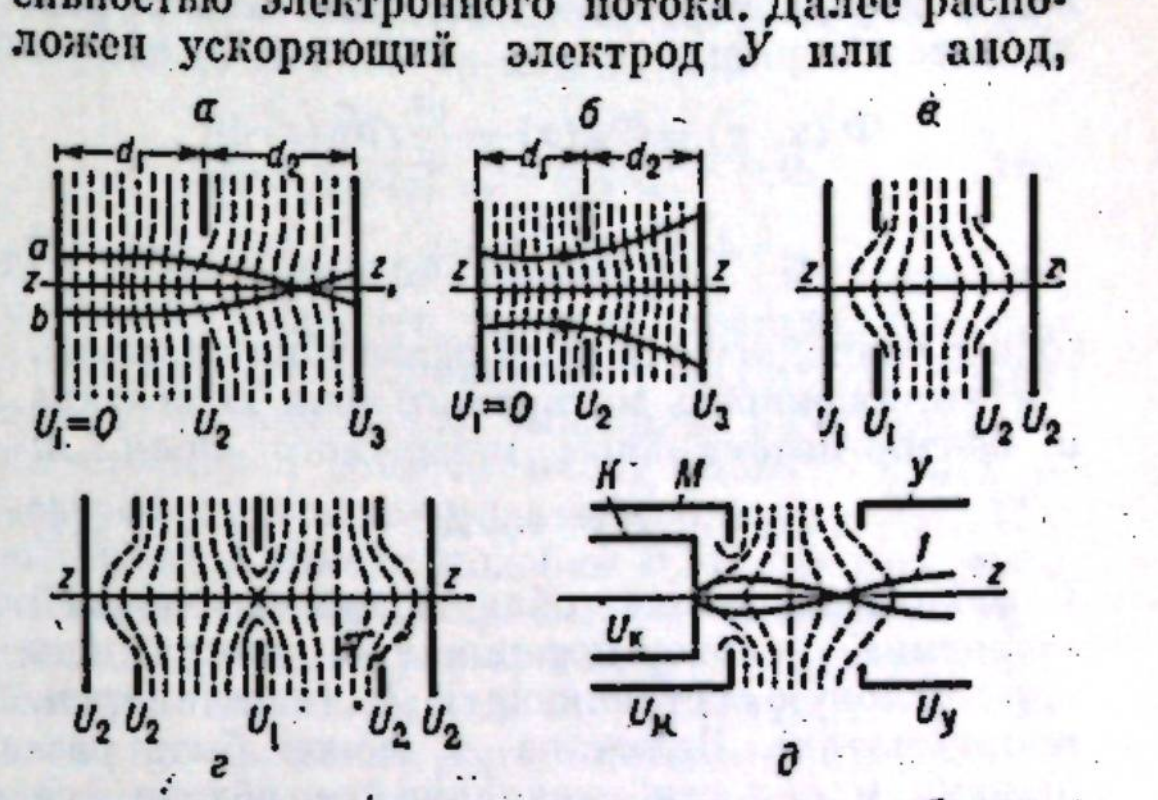


Рис. 1. Схемы электронных линз: *а* — собирающая и *б* — рассеивающая линзы, образуемые диафрагмой с круглым отверстием; *в* — иммерсионная линза, образованная двумя диафрагмами; *г* — одиночная линза, образованная тремя диафрагмами; *д* — иммерсионный объектив; $U_к$, $U_м$ и $U_у$ — потенциалы катода, модулятора и электрода ($U_к=0$; $U_м<0$; $U_у>0$); *zz* — ось симметрии.

имеющий положит. потенциал. Фокусное расстояние электронных линз связано с расстояниями от линзы до предмета (n) и до изображения (m) такими же соотношениями, как и в световой оптике; для иммерсионной линзы

$$\frac{f_n}{n} + \frac{f_m}{m} = 1$$

и для одиночной линзы

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{n} + \frac{1}{m}.$$

Простейшей магнитной линзой служит пост. магнитное поле, простирающееся вдоль всей траектории электронов (соленоидальная линза). В отличие от соленоид. (длинной) линзы, фокусирующее поле короткой линзы сосредоточено на небольшом участке траектории электронов между предметом и изображением. Длина поля вдоль оси намного меньше фокусного расстояния линзы. В магнитной линзе имеет место поворот изображения всего электронного объекта на угол θ. Для исследования электроннооптических свойств линз необходимо знать траектории заряженных частиц; для расчета траекторий должно быть известно поле, в к-ром происходит движение. Распределение электростатич. или магнитостатич. потенциала в отсутствие пространств. заряда можно найти, решая ур-ние Лапласа при заданных граничных условиях.

В электроннооптич. системах широко распространены поля, обладающие симметрией вращения. В отсутствие пространств. заряда они удовлетворяют ур-нию Лапласа:

$$\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(\frac{r\,\partial\Phi}{\partial r}\right) + \frac{\partial^2\Phi}{\partial z^2} = 0, \qquad (1)$$

где $\Phi(r, z)$ — электростатич. потенциал. Для распределения поля в приосевой области в Э. о. часто используется разложение потенциала вдоль оси симметрии системы $\Phi(0, z) = \Phi_0(z)$ в ряд:

$$\Phi(r, z) = \Phi_0(z) - \frac{r^2}{4}\Phi_0''(z) + \frac{r^4}{64}\Phi_0^{IV}(z) + \ldots, \qquad (2)$$

где $\Phi_0''(z)$ и $\Phi_0^{IV}(z)$ — вторая и четвертая производные $\Phi_0(z)$, а потенциал, зависящий только от двух декартовых координат x и y, разлагается в ряд:

$$\Phi(x, y) = \Phi_0(x) - \frac{y^2}{2}\Phi_0''(x) + \frac{y^4}{24}\Phi_0^{IV}(x) + \dots \quad (3)$$

(ось x совпадает с линией симметрии системы).

Напряженность магнитного поля H связана с вектор-потенциалом магнитного поля A:

$$H = \operatorname{rot} A. \quad (4)$$

В магнитных полях, обладающих симметрией вращения, вектор-потенциал A имеет лишь одну угловую составляющую A_θ (в цилиндрич. координатах). Величина A_θ может быть разложена в области, находящейся вблизи оси симметрии z, в ряд по степеням r:

$$A(r, z) = \frac{r}{2}H(z) - \frac{r^3}{16}H''(z) + \dots \quad (5)$$

Используя эти выражения, можно исследовать электроннооптич. свойства систем. Для определения электростатич. полей сложных систем применяются числ. методы: релаксационный (метод сеток), сшивания аналитич. решений ур-ния Лапласа для отдельных областей исследуемого пространства и т. д. Использование числ. методов облегчается применением вычислит. машин. Удобно исследовать поля с помощью электроинтеграторов, к-рые автоматически решают разностные ур-ния, соответствующие ур-нию Лапласа. С помощью электроинтегратора можно учесть влияние пространств. заряда. Для эксперимент. исследования электростатич. полей (иногда магнитных) применяется метод электролитич. ванны, основанной на подобии полей реальной электроннооптич. системы, находящейся в вакууме, и ее модели, погруженной в слабый электролит (однороднопроводящую жидкость). Ванна изготовляется из изолирующего материала. Как правило, электроды делаются из железа, а электролитом служит водопроводная вода. Во избежание поляризации, искажающей поле, к электродам подводится перем. напряжение (при частоте неск. сотен *гц*). Значения потенциалов электродов и зонда задаются перем. сопротивлениями. Когда зонд помещается в точку поля, потенциал к-рой равен потенциалу зонда, индикатор показывает нуль. Воспроизводить эквипотенциальную линию на бумаге удобно с помощью пантографа. При моделировании систем с вращат. симметрией можно погрузить в ванну только половину модели, получающуюся сечением электродов меридианной плоскостью, так, чтобы поверхность электролита совпадала с плоскостью сечения. В этом случае зонд должен скользить по поверхности электролита, погружаясь в него только острием. Магнитные поля можно исследовать описанными методами лишь в случае, когда поверхности, ограничивающие поля, можно считать поверхностями равного скалярного магнитного потенциала, напр. поверхности ненасыщенных ферромагнитных тел. В случае даже частичного насыщения магнитного материала эти методы неприменимы. Эксперимент. измерение распределения магнитного поля можно произвести с помощью пробной катушки, помещаемой непосредственно в реальную систему, т. к. степень насыщения материала полюсных наконечников зависит от масштаба изготовления системы. Катушка подключается к баллистич. гальванометру. Магнитная индукция в исследуемой точке поля находится по потокосцеплению.

Траектория электрона, движущегося из области, потенциал к-рой равен Φ_1, в область с потенциалом Φ_2, показана на рис. 2. Пока электрон находится в эквипотенциальной области, на него не действуют электрич. силы и траектории электронов представляются прямыми линиями. На границе изменяется нормальная к ней составляющая скорости электрона, а касательная остается неизменной. Условие непрерывности касательных составляющих может быть записано в виде:

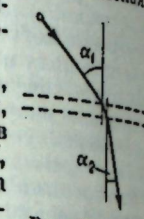


Рис. 2. «Преломление» электронного луча на электрическом двойном слое.

$$\sqrt{2\frac{e}{m}\Phi_1}\sin\alpha_1 = \sqrt{2\frac{e}{m}\Phi_2}\sin\alpha_2, \quad (6)$$

где скорость электронов выражена через потенциалы Φ (в нерелятивистском случае), а α_1, α_2 — углы между траекториями электронов в областях 1 и 2 и нормалью к поверхности раздела, e, m — заряд и масса электрона;

$$\frac{\sin\alpha_1}{\sin\alpha_2} = \frac{\sqrt{\Phi_2}}{\sqrt{\Phi_1}}. \quad (7)$$

В Э. о. квадратный корень из потенциала можно трактовать как электроннооптич. показатель преломления. Правила, касающиеся козф. преломления в световой оптике, применимы к электроннооптич. системам за исключением того, что в среде с большим показателем преломления электроны движутся быстрее, а световые волны — медленнее. Траекторию электронов в большинстве практич. задач приходится определять графич. (графоаналитич.) и эксперимент., а также приближенными числ. методами. Один из таких методов, пригодный для электростатич. поля, основан на законе преломления (7). Исследуемая область разбивается на ряд зон, потенциал внутри к-рых усредняют и полагают равным полусумме потенциалов 2 эквипотенциальных линий, ограничивающих зону. По заданному углу падения из (7) находят угол преломления. Это решение приближенно, т. к. в действительности в зоне между двумя эквипотенциальными линиями существуют электрич. силы и отрезок траектории не остается прямолинейным; кроме того, трудно точно построить нормаль к эквипотенциалям. В след. приближенном методе траекторию электрона заменяют кривой, состоящей из сопряженных дуг окружностей. Радиус криволинейной траектории R определяется из центростремит. силы, действующей на электрон:

$$eE_n = mv^2/R, \quad (8)$$

где E_n — составляющая вектора напряженности электрич. поля по нормали к траектории. С учетом связи скорости электрона с потенциалом,

$$R = 2\Phi/E_n. \quad (9)$$

По известному распределению потенциала и начальному направлению движения электрона можно построить траекторию по соотношению (9), к-рое лежит в основе практ.

бора для автоматич. построения траекторий с помощью электролитич. ванны, где, помимо обычного зонда, есть дополнит. зонды, позволяющие определять E_n. Для графоаналитич. построения пространств. траекторий электронов в магнитных полях используется метод радиусов кривизны, основанный на однозначном определении траектории ее проекциями на 2 плоскости. Траектории электронов в электрич. полях удобно определять с помощью резиновой мембраны. Этот метод основан на подобии ур-ний движения заряда в плоском электростатич. поле и ур-ний движения материальной точки в поле силы тяжести. Заряженная частица движется в электростатич. поле по таким же траекториям, как и материальная точка по поверхности, расположенной в однородном гравитац. поле, при условии, что высота точек поверхности пропорциональна потенциалу. Траектории частиц в электростатич. и гравитац. полях не зависят ни от заряда, ни от массы. В качестве поверхности используется равномерно натянутая горизонт. резиновая мембрана; в местах мембраны, соответствующих сечениям увеличенных электродов моделируемой системы, ей придают вертикальные отклонения, пропорц. потенциалам электродов. Траектория движения металлич. шарика с одного уровня рельефной поверхности мембраны к другому проецируется на горизонт. плоскость и эта проекция будет подобна действит. траектории. Метод можно модифицировать так, чтобы учесть влияние пространств. заряда; он неприменим для исследования траекторий в полях, обладающих симметрией вращения. Для моделирования траекторий электронов в магнитостатич. полях используется метод годоскопа, основанный на аналогии между формой траектории электрона и фигурой равновесия тонкой металлич. нити, помещенной в исследуемое поле и обтекаемой током (рис. 3). Аналогия была бы полной, если бы нить не имела веса и обладала идеальной гибкостью. В теории изображения главную роль играют пологие приосевые электронные траектории, полностью расположенные внутри узкой цилиндрич. области, осью к-рой служит ось симметрии поля. Если длина этого цилиндра задана общей длиной луча, то отношение радиуса цилиндра к его длине должно быть столь малым, чтобы во всех расчетах можно было бы пренебрегать степенями этого отношения выше первой. Если расстояние электронов от оси измеряется отношением радиального расстояния к общей длине луча, то в расчетах, связанных с приосевыми траекториями, можно пренебречь второй и более высокими степенями этого отношения по сравнению с первой. Законы изображения, создаваемого пологими приосевыми (часто наз. параксиальными) лучами, составляют содержание гауссовой диоптрики. Ур-ния движения электронов в поле с вращат. симметрией имеют вид:

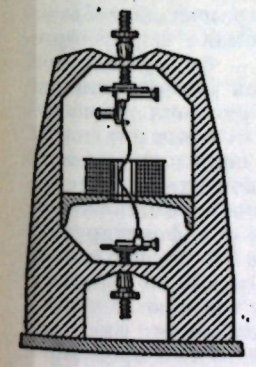


Рис. 3. Общий вид годоскопа.

$$\ddot{mz} = e\Phi'(z) \text{ и } \ddot{mr} = -e\frac{\Phi''(z)}{2}r. \quad (10)$$

С помощью этих ур-ний и (2) можно получить дифференц. ур-ние траекторий параксиальных электронов в поле, обладающем вращат. симметрией (основное ур-ние Э. о.):

$$\frac{d^2r}{dz^2} + \frac{\Phi'(z)}{2\Phi(z)}\frac{dr}{dz} + \frac{\Phi''(z)}{4\Phi(z)}r = 0, \quad (11)$$

где $\Phi(z)$ — осевой потенциал. Из второго ур-ния (10) следует, что сила, действующая на электрон, пропорциональна расстоянию его от оси. Т. о., электроны, вышедшие из одной точки приосевой области, могут снова сойтись в нек-рой другой точке этой области. Из (11) вытекают 3 закона подобия Э. о.: 1) при увеличении линейных размеров электроннооптич. системы в m раз траектории подобно увеличиваются в m раз; 2) ход траектории не зависит от отношения заряда к массе движущейся частицы (траектории положит. ионов идентичны траекториям электронов при изменении полярности электродов); 3) изменение потенциалов в κ раз во всех точках поля не изменяет траектории. Траектории параксиальных электронов можно найти по заданному распределению осевого потенциала; они создают стигматич. (точечное, четкое) изображение предметной плоскости на плоскости изображения. Электронное изображение подобно объекту и повернуто относительно него на 180°. При движении электрона в магнитном поле, действующем по нормали к скорости движения электрона, абсолютное значение скорости остается неизменным, однако изменяется ее направление. Если электрон, начальная скорость к-рого лежит в меридианной плоскости, попадает в магнитное поле, то на него действует составляющая поля, перпендикулярная скорости. Т. о. получается сила, перпендикулярная меридианной плоскости, создающая азимутальную составляющую скорости; в то же время осевая составляющая напряженности поля отклоняет электроны к оси. Эта составляющая в приосевой области постоянна с точностью до бесконечно малой второго порядка (5). Т. к. азимутальная составляющая скорости пропорциональна удалению электрона от оси, электроны, обладающие равной скоростью, стягиваются к оси. Дифференц. ур-ние траекторий электронов в магнитном поле для системы с вращат. симметрией (основное ур-ние Э. о.) имеет вид:

$$\frac{d^2r}{dz^2} + \frac{e}{8mU}\cdot B_z^2(z)\,r = 0, \quad (12)$$

где $B_z(z)$ — составляющая индукции на оси, U — разность потенциалов при прохождении электрона до входа в магнитное поле. Угол поворота изображения по отношению к предмету (рис. 4)

$$\psi_1 = \sqrt{\frac{e}{8mU}}\int_{z_0}^{z_1} B_z(z)\,dz. \quad (13)$$

Практически электронные пучки, как правило, выходят за пределы приосевой области и не фокусируются в точку. Вследствие нарушения условий параксиальности возникают геометрич. ошибки или аберрации третьего порядка. Кроме этих ошибок, в реальных электроннооптич. системах имеют место ошибки юстировки или аберрации первого порядка, обусловленные нарушениями симметрии электростатич. или магнитостатич. поля, хроматич. аберрация,

возникающая вследствие неоднородности начальных энергий электронов, дифракц. ошибки. На фокусировку электронов влияет также

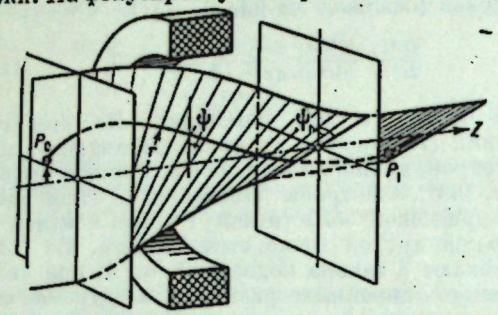


Рис. 4. Изображение, создаваемое магнитным полем, обладающим вращат. симметрией. Электронные траектории расположены на винтовых поверхностях перем. шага: P_0 — точка начала электронной траектории; P_1 — точка изображения; r, Z — координаты.

пространств. заряд. При исследовании аберраций третьего порядка в рядах для напряженности электростатич. или магнитостатич. поля учитывают члены разложения, содержащие расстояние от оси в третьей степени и квадрат первой производной траектории (угла наклона). В электростатич. полях существуют аберрации третьего порядка след. типов: сферич. аберрация, кома, кривизна поля, астигматизм, дисторсия (геометрич. искажения). В магнитных полях добавляется спиральная дисторсия, анизотропная кома, анизотропный астигматизм. Сферич. аберрация обусловлена тем, что преломляющее действие аксиально симметричного электрич. или магнитного поля на крайние лучи центр. пучка с широким раствором оказывается сильнее, чем на лучи узкого пучка параксиальных траекторий. В результате вместо точки на экране, расположенном в плоскости, где создается изображение параксиальными траекториями, возникает кружок рассеяния, радиус к-рого Δr_c пропорционален кубу угла раствора пучка θ_a или радиусу R_b от-

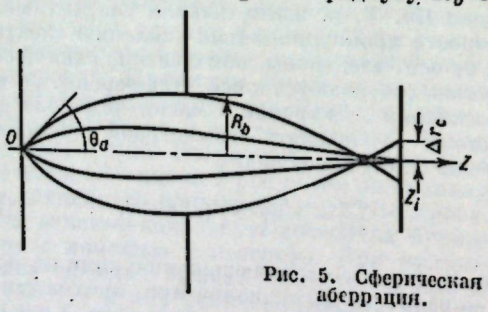


Рис. 5. Сферическая аберрация.

верстия в диафрагме, ограничивающей сечение пучка (рис. 5):

$$\Delta r_c = BR_b^3. \qquad (14)$$

Сферич. аберрация электронных линз с симметрией вращения всегда положительна, т. к. крайние лучи пучка пересекаются ближе, чем параксиальные. Теоретически показано, что эта ошибка может быть сколь угодно малой. Возникновение комы вызвано асимметрией пучков, выходящих из внеосевых точек предмета (рис. 6). Эта ошибка или радиус окружности аберрационной кривой (центр к-рой смещен относительно точки параксиального изображения)

$$\Delta r_к = CR_b^2 r_0, \qquad (15)$$

где C — коэфф. аберрации (при надлежащем выборе поля может быть сведен к 0). Образова-

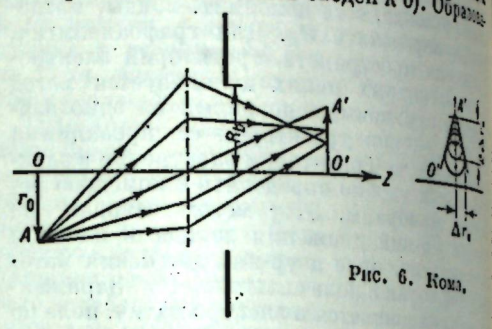


Рис. 6. Кома.

ние астигматизма иллюстрируется рис. 7. Два плоских взаимно-перпендикулярных пучка — саггитальный пучок (траектории 2 и 4

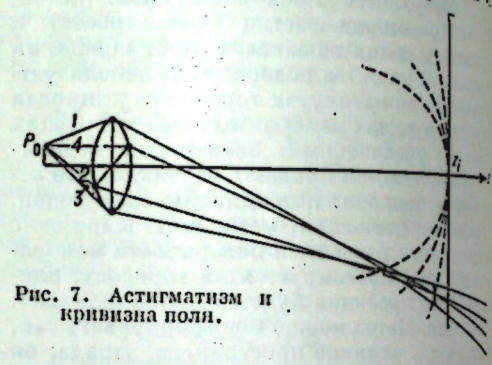


Рис. 7. Астигматизм и кривизна поля.

и меридиональный пучок (траектории 1 и 3, исходящие из одной точки предмета, собираются в 2 различных точках. Геометрич. место точек фокусировки саггитального и меридионального пучков наз. соответственно саггитальной и меридиональной поверхностями изображения. На этих поверхностях изображения точек предмета принимают форму черточек, а на плоском экране — форму эллипсов. На нек-рой промежуточной поверхности (поверхности кривизны) изображения точек предмета вращаются в кружки, т. е. сечение астигматического пучка круглое. Кривизна поля проявляется в том, что промежуточная поверхность изображений, где изображение наиболее четко не совпадает с плоскостью, в к-рой фокусируются параксиальные траектории. В случае возникновения дисторсии фокусировка не нарушается, но точки изображения смещаются относительно их правильного положения. Смещение точек изображения при дисторсии пропорционально кубу расстояния r от оси до отображаемой точки предмета:

$$\Delta r_g = Fr_0^3. \qquad (16)$$

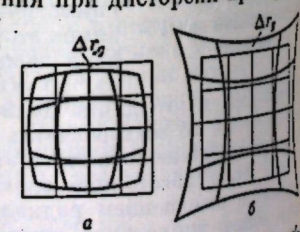


Рис. 8. Дисторсия: *а* — «бочкообразная»; *б* — «подушкообразная». Тонкими линиями показано неискаженное изображение.

В зависимости от знака коэфф. F различают «подушкообразную» и «бочкообразную» дисторсию (рис. 8). В магнитном поле появляется анизотропная (спиральная) дисторсия (рис. 9). При нарушении симметрии электронно-оптич. системы электроны центр. пучка испытывают различное действие преломляющей среды и не пересекают ось в одной точке.

Ошибку юстировки часто наз. осевым астигматизмом. Т. к. добиться абсолютной аксиальной симметрии системы не удается, для компенсации осевого астигматизма могут быть введены корректирующие элементы, не обладающие аксиальной симметрией. Компенсирующие устройства наз. стигматорами. Выше предполагалось, что начальные скорости электронов в пучке одинаковы, однако в реальных пучках имеет место разброс электронов по скоро-

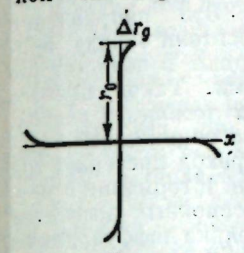


Рис. 9. Спиральная дисторсия.

стям. Электроны, обладающие различными скоростями, фокусируются в разных точках; получающаяся фигура рассеяния похожа на фигуру сферич. аберрации. Это явление наз. хроматич. аберрацией, к-рая может увеличиваться вследствие взаимодействия электронов с веществом и т. д. Для уменьшения хроматич. аберрации принимаются меры по уменьшению разброса скоростей электронов. В частности, с этой целью иногда используют линзы-фильтры. При отклонении луча на значит. расстояние от оси (напр., в электронно-лучевых трубках, имеющих большой экран и сравнительно малую осевую длину) точка также размывается в пятно (рис. 10). При увели-

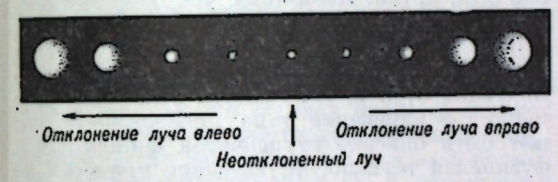


Рис. 10. Искажение формы пятна на экране электронно-лучевой трубки при отклонении луча.

чении плотности тока в пучке происходит его расширение вследствие действия кулоновских сил отталкивания, наличие пространств. заряда приводит к понижению потенциала в области пучка; это падение ограничивает ток пучка и может полностью нарушать токопрохождение. В ряде приборов, напр. в нек-рых электронно-лучевых трубках, электронных микроскопах, эти эффекты пренебрежимо малы, однако в приборах СВЧ, приемно-усилит. лампах они играют существ. роль. В связи с развитием циклич. и линейных ускорителей большой энергии потребовалось обеспечить устойчивость траекторий ускоряемых частиц. В этом случае весьма эффективна т. н. жесткая (сильная) фокусировка, при к-рой на пучок заряженных частиц действуют периодически чередующиеся участки электрич. или магнитного поля. Расположение электродов системы жесткой фокусировки дано на рис. 11. Положит. и отрицат. электроды A, A', B, B' располагаются асимметрично так, что положит. электродам предыдущей секции соответствуют отрицат. электроды последующей и наоборот. Фокусирующее действие такой систе-

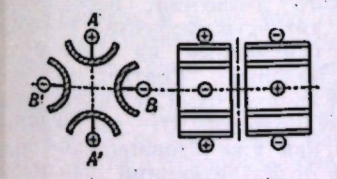


Рис. 11. Схема расположения электродов при жесткой фокусировке.

мы можно приблизительно представить, рассматривая последовательность собирающих и рассеивающих линз равной силы. Траектория электрона, прошедшего собирающую линзу, направлена к оси так, что рассеивающую линзу он пройдет ближе к оси. Т. о. он будет отклоняться от оси, но не так сильно, как к оси в собирающей линзе той же силы. Во многих приборах технич. электроники энергии электронов составляют десятки и сотни тысяч *эв*. В таких случаях при расчете траектории, чувствительности отклоняющих систем, аберраций и других задач следует учитывать, что масса частицы $m(v)$, скорость движения к-рой v сравнима со скоростью света c, изменяется по закону:

$$m(v) = \frac{m_0}{\sqrt{1 - v^2/c^2}}. \qquad (17)$$

С учетом этой зависимости неск. изменяются основные соотношения нерелятивистской Э. о. В частности, конфигурация траекторий быстрых частиц определяется не только соотношением потенциалов, но зависит от отношения заряда к массе. В этом случае 2-й и 3-й законы подобия сливаются в один: траектория электрона не изменится, если отношение заряда к массе и потенциалы всех электродов изменить в q раз.

Лит.: Глазер В., Основы электронной оптики, пер. с нем., М., 1957; Пирс Дж. Р., Теория и расчет электронных пучков, пер. с англ., М., 1956; Зиченко Н. С., Курс лекций по электронной оптике, 2 изд., Харьков, 1961; Цуккерман И. И., Электронная оптика в телевидении, М.—Л., 1958; Гринберг Г. А., Избранные вопросы математической теории электрических и магнитных явлений, М.—Л., 1948; Кельман В. М., Явор С. Я., Электронная оптика, 2 изд., М.—Л., 1963; Страшкевич А. М., Электронная оптика электростатических полей, не обладающих осевой симметрией, М., 1959; Стэррок П. А., Статическая и динамическая электронная оптика, пер. с англ., М., 1958.

И. В. Пароль.

ЭЛЕКТРОННАЯ УПРАВЛЯЮЩАЯ МАШИНА (electronic control computer; machine électronique de commande; elektronische Steuerungsanlage) — см. *Управляющая цифровая машина.*

ЭЛЕКТРОННАЯ ЦИФРОВАЯ МАШИНА (electronic digital computer; machine électronique numérique, calculatrice numérique automatique; elektronischer Digitalrechner) — см. *Цифровая вычислительная машина.*

ЭЛЕКТРОННАЯ ЭМИССИЯ [electron emission; emission électronique (émission d'électrons); Elektronenemission)] — испускание электронов веществами при воздействии на них различных видов энергии: тепловой (*термоэлектронная эмиссия*), лучистой (фотоэлектронная эмиссия — *внешний фотоэффект*), энергии электронных, ионных и атомных пучков (электронная *вторичная эмиссия* и *термоионная эмиссия*), энергии внешнего сильного ($E \geqslant 10^6$ *в/см*) ускоряющего электрич. поля (*автоэлектронная эмиссия*), энергии экзотермич. реакций и процессов (экзоэлектронная эмиссия).

Самостоят. интерес представляет явление Э. э. в случае радиоактивного распада (β-лучи), испускание электронов отдельными атомами и молекулами при их совместном взаимодействии и при облучении последних жесткими, напр. рентгеновскими, лучами (ионизация частиц).

Термо-, фото- и вторичная Э. э. происходят вследствие обмена энергиями между электронами и атомами либо ионами кристаллич. решетки, при этом к телу извне подводится

энергия. Покинуть пределы твердого тела электрон может тогда, когда его энергия превысит значение энергетич. барьера на границе тела. При наличии сильного электрич. поля этот барьер может понижаться (сужаться) до такой степени, что электроны без затраты дополнит. энергии будут покидать пределы твердого тела (туннельный эффект).

Изучение явлений Э. э. представляет научный интерес: при исследовании электронных свойств веществ, и особенно свойств их поверхностей; при создании и поддержании в течение необходимого времени потоков электронов различной плотности и мощности; при изучении воздействия таких потоков на твердые и жидкие вещества.

Исследование Э. э. привело к созданию электровакуумных приборов и термоэлектронных преобразователей энергии, важнейшим элементом к-рых служит накаленный катод, а также различных видов фотоэлектронных приборов и электронных умножителей, использующих свойства внешнего фотоэффекта и вторичной Э. э. и позволяющих индуцировать и усиливать весьма слабые воздействия облучений и частиц на вещества до значений, к-рые могут регистрироваться обычными измерит. приборами.

Б. В. Бондаренко.

ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЙ ПЕРЕХОД, *n* — *p*-переход, *p* — *n*-переход (*p*—*n*-junction; transition électrons-trous; *p*—*n*-Übergang),— переход между двумя областями ПП, одна из к-рых имеет *электропроводность n*-типа, а другая — *p*-типа.

Э.-д. п. служит основой ПП приборов. В области Э.-д. п. образуется слой объемного заряда, обедненный подвижными носителями заряда. Этот слой представляет собой потенциальный барьер для основных и потенциальную яму для неосновных носителей заряда. Образование потенциального барьера в области Э.-д. п. понятно из след. соображений. Концентрация дырок в *p*-области ПП относительно велика. Концентрация дырок в *n*-области относительно мала. Следовательно, должен существовать диффуз. поток дырок из *p*-области в *n*-область. Аналогично должен существовать поток электронов в обратном направлении. Однако в условиях термодинамич. равновесия результирующий ток через переход равен нулю, т. к. между *n*- и *p*-областями возникает контактная разность потенциалов, а в области Э.-д.п.— электрич. поле, к-рое и компенсирует диффузию носителей заряда.



Диаграмма энергетич. зон электронно-дырочного перехода без смещения: ε_c — энергия наинизшего энергетич. состояния в зоне проводимости; ε_v — энергия наивысшего энергетич. состояния в валентной зоне; ε_F — энергия уровня Ферми; ε_i — энергия середины запрещенной зоны; *ОП* — область перехода.

На рис. приведена диаграмма энергетич. зон Э.-д.п. без смещения. Потенциальная энергия электрона, занимающего энергетич. состояние вблизи дна зоны проводимости, выше в *p*-области ПП и ниже в *n*-области. Энергия дырки, наоборот, выше в *n*-области, поскольку дырка обладает обратным по знаку зарядом.

Основное свойство Э.-д. п. — униполярная проводимость. При приложении внешнего напряжения к Э.-д. п., плюс к *p*-области и минус к *n*-области, потенциальный барьер для основных носителей заряда в обеих частях ПП понижается и их диффуз. потоки не будут скомпенсированы. Это направление наз. прямым. Основные носители заряда, проходя через Э.-д. п., попадают в область, где они являются неосновными. Такой процесс наз. *инжекцией неосновных носителей заряда*. При обратном *смещении* потенциальный барьер повышается, и через переход протекает ток малой величины, связанный в германии в осн. с тепловой генерацией неосновных носителей заряда, на расстоянии порядка диффуз. длины от Э.-д. п., а в кремнии — в слое объемного заряда.

В германии, если с обеих сторон Э.-д. п. ПП не является сильно вырожденным, вольтамперная хар-ка перехода имеет вид $I = A[\exp(qU/kT)]$, где A — ток, протекающий через переход при достаточно большом обратном смещении, q — заряд электрона, k — постоянная Больцмана, T — темп-ра. В кремнии вольтамперная хар-ка при прямом смещении имеет аналогичный вид, однако при обратном смещении ток через переход оказывается существенно зависящим от приложенного напряжения. В случае, если ПП сильно вырожден, его хар-ка вследствие туннельного эффекта имеет ветвь с отрицат. сопротивлением (см. *Диод туннельный*). При больших обратных смещениях происходит пробой Э.-д. п. (см. *Ионизация ударная*, *Зинеровский пробой*).

Э.-д. п., создаваемые рядом технологич. процессов, обладают различными свойствами. Сплавные Э.-д. п. получаются с резкими границами — изменение типа проводимости может быть описано ступенчатой ф-цией. Диффузионная технология (введение примесей из жидкой или газообразной фаз, обратная диффузия) дает плавные переходы. С помощью вытягивания из расплава (с перем. скоростью или с изменением состава расплава) и эпитаксиальной технологии можно получить как плавные, так и резко выраженные Э.-д. п.

М. И. Маркевич.

ЭЛЕКТРОННО-ИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ (electrostatic processes, applications of electrostatic phenomena to particulate matter; application des forces electrostatique; Anwendungen elektrostatischer Kräfte) — совокупность знаний о процессах и методах переработки материалов или формирования изделий из них, использующих взаимодействия сильных электрич. полей и электрич. зарядов, переносимых материалом (гл. обр. диспергированным), и особенности движения электризованных материалов в электрич. поле с целью придания последним различных форм упорядоченного движения, необходимых для создания готового продукта; также самые процессы, основанные на применении указанных явлений. Соответственно виду используемой энергии Э.-и. т. является отраслью электротехнологии. От др. видов электротехнологии, как уже сложившихся — электротермии с ее подразделениями (различные виды электронагрева и электросварки), электрохимии (электролиз с его разновидностями, газовая электрохимия), так и более новой отрасли — размерной электрообработки материалов (см. *Электрофизическая и электрохимическая размерная обработка материалов*), Э.-и. т. отличается особенностями используемых электрофиз. процессов и характером решаемых в произ-ве задач — формирование из сырья или полуфабриката готового продукта или изделия. Эти особенности вместе с широкой гаммой производств. операций и позволяют рассматривать Э.-и. т. как особый вид технологии.

Электрофиз. процессы, используемые в Э.-и. т.,— газовый разряд для создания ионизованных сред, для зарядки частиц и формирования поля; различные виды статич. электризации материалов; управление с помощью электрич. полей движением потоков носителей зарядов — позволяют отнести процессы Э.-и. т. к области пром. электроники. По этому признаку иногда объединяют процессы Э.-и. т., размерной электрообработки материалов и нек-рые др.под общим названием «электронная технология».

Широкое практич. значение процессов Э.-и.т. определяется разнообразием форм взаимодействия поля и электризованного вещества и тем, что: 1) они применимы к л ю б ы м должным образом диспергированным материалам, как диэлектрическим, так и проводящим; 2) материалы могут обрабатываться в различном агрегатном состоянии — твердом, жидком или парообразном; 3) процессы осуществимы в различных средах — технич. вакууме, газе, жидкости (диэлектрической). В последнем случае Э.-и. т. близка к т. н. электрофоретич. процессам. Поскольку электрич. силы прилагаются к зарядам, располагающимся на поверхностях электризованного материала, для достаточного проявления этих сил особо пригодны раздробленные материалы, имеющие весьма развитую поверхность. Степень раздробленности в зависимости от вида процесса может быть различной: от частиц субмикронных размеров до частиц размером в десяток *мм* и более (при волокнистых материалах). В некоторых случаях раздробленность материалов не характерна, напр. перенесение электризов. краски на заряж. бумагу в процессе *электропечати*.

Организация процессов Э.-и. т. варьируется в зависимости от целевого назначения. Условно здесь можно выделить 3 стадии, или подпроцесса. 1) Зарядка материала, осуществляемая различными видами т. н. статич. электризации или газовыми ионами, создаваемыми в электрич. разряде (обычно во внешней зоне *коронного разряда*). Иногда зарядка совмещена с одноврем. распылением материала электрич. и аэродинамич. силами, развивающимися, напр., в области ионизации коронного разряда. 2) Различные формы движения электризованного материала в электрич. поле, создаваемом зарядами на электродах или с участием ионного объемного заряда, под действием кулоновских или поляризац. сил, а также в собственном поле частиц с одноврем. использованием в нек-рых случаях гравитац. или аэродинамич. сил (простое направл. движение, движение с одноврем. коагуляцией, ориентацией или деформацией частиц). 3) Формирование продукта или изделия, происходящее обычно на электродах или в приэлектродной области с использованием в ряде случаев сил зеркального отражения.

Виды пром. операций, осуществляемых средствами Э.-и. т., условно можно подразделить на 7 категорий. 1) Осаждение материалов путем простого направленного движения: *газоочистка электрическая*, *электроулавливание*, *электроокрашивание*, *электроглазурование*, *электрокопчение*, нанесение электризованных порошков химикатов на растения и др. 2) Разделение материалов на основе различия условий зарядки, движения в электрич. поле или удержания частиц на электродах: *электросепарация* и *электрообогащение* полезных ископаемых, полимерных материалов, семян (см. *Электронно-ионная технология в сельском хозяйстве*) и др. веществ. 3) Формирование в поле или на электродах смесей или механич. образований из разнородных или однородных материалов с использованием взаимодействия электризов. частиц: электросмешивание сыпучих материалов, коагуляция в электрич. поле. 4) Формирование на электродах материалов или изделий из частиц, ориентированных в поле по их геометрич. или молекулярным (при анизотропии физ. св-в) осям: *электроворсование*, просеивание на ситах частиц удлиненной формы, напр. семян, изготовление абразивных тканей, нанесение люминофоров, формирование поляроидов, диэлектриков. 5) Деформация частиц в электрич. поле, в т. ч. в комбинации с упомянутыми в пунктах 4 процессами: *электроокрашивание*, *электропрядение*, формирование электретов. 6) Иные комбинации процессов, упомянутых в пунктах 1—5. 7) Комбинирование этих процессов с одноврем. воздействием теплового поля или хим. реагентов: нанесение защитных и иных полимерных покрытий, плавка сверхчистых металлов во взвешенном состоянии в электрич. поле. Особой областью является использование методов Э.-и. т. в биологии (агробиология, животноводство, медицина).

Упомянутым не исчерпываются все возможные процессы и области применения Э.-и. т., к-рая представляет собой еще развивающийся вид технологии.

Создание в аппаратах Э.-и. т. электрич. полей нужной формы, напряженности и характера изменения во времени обеспечивается выбором системы электродов и источников питания высокого напряжения (см. *Электрофильтр*, *Генераторы электростатические*). Обычно используются стационарные поля и в нек-рых случаях квазистационарные, в стадии изучения находится применение импульсных режимов — напр., в электрогазоочистке. Перспективны системы питания и управления с оптимизацией режима работы аппаратов.

Для Э.-и. т. характерна поточность осуществляемых производств. операций в сочетании с высокой их управляемостью, свойственной процессам электроники, что позволяет рассматривать Э.-и. т. как эффективное средство автоматизации произ-ва. Др. важная особенность Э.-и. т.— высокая точность, а в нек-рых случаях филигранная тонкость выполняемых операций, что открывает перед этой технологией перспективу в области изготовления новых материалов с особыми св-вами.

Лит.: Попков В. И., Производственные применения сильных электрических полей, «ВАН СССР», 1965, № 1; Попков В. И., Григорьев В. В., Бут А. И., Электронно-ионную технологию — в народное хозяйство, «Промышленная энергетика», 1962, № 2; Электронная технология, М., 1962; Применение сил электрического поля в промышленности и сельском хозяйстве. По материалам Международного коллоквиума, посвященного физике электростатических сил и их применению (Гренобль), М., 1964; Ralston O. C., Practical applications of electrostatic phenomena to particulate matter, «Trans. Amer. Inst. Electr. Engrs. Part I», 1956, v. 75, p. 155;

Felici N. J., Die elektrostatischen Kräfte und ihre Anwendungen, «Elektrotechn. Z. A», 1962, Jg. 83, H. 15, S. 485. В. И. Попков.

ЭЛЕКТРОННО-ИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ В СЕЛЬСКОМ ХОЗЯЙСТВЕ (applications of electrostatic processes in agriculture; application des forces électrostatiques en agriculture; Anwendungen elektrostatischer Kräfte in der Landwirtschaft). Наряду с процессами электрич. разделения, смешивания и осаждения здесь используются возможности электрич. полей для создания полезно направленных биохимич. и биофизич. изменений в организмах. *Электронно-ионная технология* применяется для очистки семян зерновых, овощных и нек-рых технич. культур, очистки семян трав от трудноотделимых частиц и сорняков, сортировки этих семян одновременно по уд. в. и одному из размеров, для разделения продуктов переработки кукурузы, отделения лузги от ядра подсолнечника, нанесения электризованных порошков химикатов на растения. Лабораторными опытами и в производств. условиях доказано, что воздействие электрич. полей высокого напряжения приводит к повышению посевных качеств семян и их урожайности, улучшению хлебопекарных качеств товарного зерна [1], стимулированию корнеобразования у черенков, приживаемости прививок и подвоя при прививке плодово-ягодных культур [2], стимулированию биологич. качеств пыльцы при опылении растений [3]. Применяется также аэроионизация животноводческих помещений.

Попытки использовать действие электрич. поля для очистки семян предпринимались давно. В 1870 нем. ученый В. Гольц предложил электростатич. машину для очистки семян хлопка [4]. В 1954 на одной из мельниц в США испытывался электростатический [5], а в Чехословакии — электрокоронный сепаратор-коронатрон [6]. В СССР предложен способ очистки и разделения зерновой смеси в поле коронного разряда (авт. свидетельство № 124742, 1959), а также способ увеличения просеваемости зерна через плоские сортировальные решета при наложении электростатич. поля (авт. свидетельство № 129084, 1960). Поле коронного разряда использовали для разделения продуктов размола зерна [5] и кукурузы на крупу [7].

С 1954 на опытных участках и в производств. условиях Челябинской, Свердловской, Омской и др. областей ведется посев семенами, подвергнувшимися воздействию электростатич. поля и поля коронного разряда, а также исследуется влияние такого воздействия на хлебопекарные св-ва зерна. С 1958 во Всесоюзном ин-те электрификации сельского х-ва ставятся опыты по использованию электрич. поля перем. тока пром. частоты для повышения посевных св-в семян и их урожайности.

К осн. электрич. св-вам зернового материала относятся диэлектрич. постоянная, электропроводность, способность к поляризации и заряжанию. Электрич. св-ва частиц зернового материала тесно связаны с их механич. и биохимич. св-вами. Установлено, что для одного и того же сорта зерна данной культуры диэлектрич. постоянная зависит от влажности и уд. в. С увеличением уд. в. диэлектрич. постоянная зерна растет, но менее интенсивно, чем при увеличении влажности [8]. С ростом влажности и температуры возрастает поверхностная проводимость зерна [9]. Пленчатые культуры (овес и сорняк—овсюг) имеют меньшее сопротивление, чем пшеница и рожь, причем диэлектрич. постоянная овсюга при одинаковой влажности в два с лишним раза больше, чем овса. Существенное значение имеет форма зерна. Зерна вытянутой формы, близкой к удлиненному эллипсоиду, при одной и той же напряженности поля приобретают больший заряд, чем зерна укороченные или сферические.

В основе технологич. процесса механич. зерноочистит. машин заложено использование только механич. св-в зерна. Электронно-ионная технология способна учесть электрич. св-ва частиц и обеспечить создание электронных машин для очистки и сортирования с одновременной предпосевной обработкой биологич. живых семян электрич. полем. Частицы зерновой смеси разделяются по различию в электрич. и механич. св-в, а у семян, подвергавшихся воздействию электрич. поля, улучшаются посевные св-ва, повышается урожайность.

Созданы две разновидности электрозерновых машин с использованием поля коронного разряда и одна — электростатич. поля. В электрозерновой машине камерного типа ЭЗМ-К движение частиц зерновой смеси, получивших заряд в межэлектродном пространстве поля коронного разряда, определяется в основном взаимодействием сил кулоновского притяжения и сил тяжести. На рис. 1 схематизированно показаны траектории частиц при разделении в ЭЗМ-К (составляющая скорости свободного падения принята постоянной).

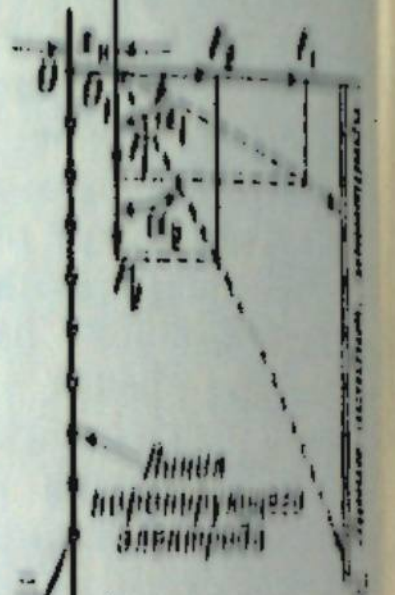


Рис. 1. Схема движения частиц в электрозерновой машине ЭЗМ-К: v_0 — начальная скорость частицы; F_1, F_2 — вес частиц; F_3, F_4 — силы поля, действующие на частицу.

В электрозерновой машине барабанного типа ЭЗМ-Б иная форма осадит. и коронирующего электродов (рис. 2). Здесь на частицу, получившую заряд и осевшую на поверхность вращающегося заземленного электрода барабана, кроме сил поля и силы тяжести, действует центробежная сила. При достаточно большом контактном сопротивлении такая частица прижимается к осадит. электроду электрич. силами. На вращающийся электрод наносится слой, увеличивающий переходное сопротивление, а следовательно, и электрич. силы, удерживающие зерно. Это — одно из необходимых условий для разделения зерна, т. к. его проводимость зависит от влажности.

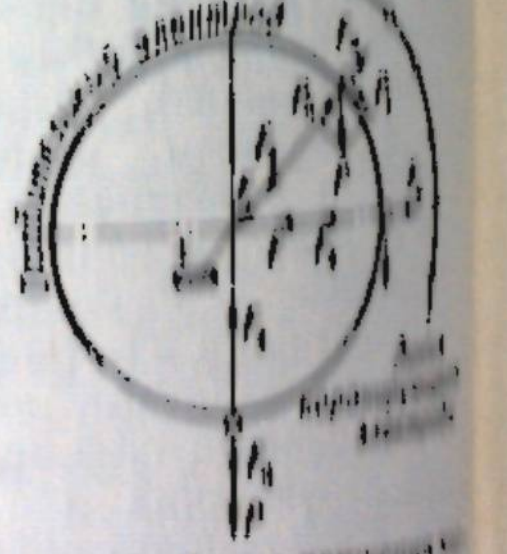


Рис. 2. Схема действия сил в машине ЭЗМ-Б: F — сила тяжести; $F_э$ — сила поля; $F_{ц}$ — центробежная сила; частицы.

Электрозерновая машина решетного типа ЭЗМ-Р, в отличие от двух первых, использует электростатич. поле, создаваемое между двумя

плоскими электродами, один из к-рых выполняет ф-цию сортировального решета (рис. 3). Зерно, поляризуясь, стремится сориентироваться большей осью вдоль силовых линий поля и занять положение, перпендикулярное к плоскости электрода-решета. Если сообщить вертикальное движение системе электродов, то появится возможность для ориентировки зерна в разрыхленном слое при меньшей напряженности поля, увеличится вероятность просевания зерна через решета с круглыми отверстиями, и, следовательно, и производительность.

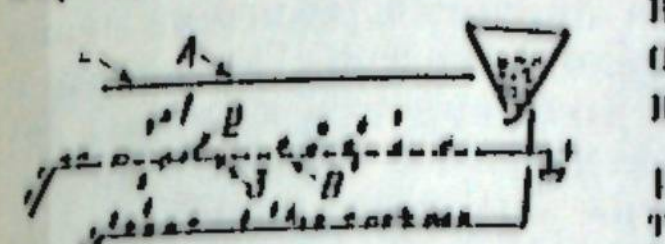


Рис. 3. Схема электрозерновой машины решетного типа ЭЗМ-Р: А — плоский и Б — заземленный электроды; 1 — зерно, ориентированное в поле; 2 — зерно, не получившее ориентацию в поле; 3 — зерно, ориентированное в поле и проходящее через отверстия с диаметром, близким к ширине зерна.

Электрозерновые машины предназначаются в качестве стационарных машин, работающих на закрытых токах колхозов и совхозов, на зерноприемных пунктах, элеваторах для: 1) очистки семенного и товарного зерна от сорняков, в т. ч. от трудноотделимых, к-рые плохо отделяются существующими зерноочистит. машинами (напр., пшеницу, ячмень, овес от овсюга, рожь от сорняков); 2) сортирования по одному из размеров и удельному или абс. весам, обеспыливания и удаления из зерновой смеси мелких, легких примесей, неполноценных семян; 3) разделения зерна по влажности, калибровки по размеру (ширине, частично по длине), для выделения из крупы кукурузы зародыша и др.; 4) восстановления (улучшения) посевных св-в семян и повышения их урожайности и хлебопекарных качеств товарного зерна.

Результаты работы ЭЗМ-Б в производств. условиях приведены в табл. 1 (исходный материал — пшеница).

Таблица 1

Показатели	Исходный материал	Выход по фракциям ЭЗМ-Б			
		1	2	3	4
Семян осн. культур (%)	97,2	99,30	99,3	93,30	85,4
Примесей (%), в т. ч.:	2,8	0,64	0,7	6,71	14,6
органич. примесей (%)	0,18	—	—	—	0,8
минеральных примесей (%)	0,016	—	—	—	0,03
овсюга (шт/кг)	640	30	60	1000	6400
овсюга (%)	1,7	0,13	0,14	3,3	10,7
прочих (%)	0,6	0,5	0,48	3,44	3,04
Абс. вес (вес 1000 зерен, г)	30,5	31,7	37,84	35,31	31,8
Вес фракций (%)	100	60,6	17,8	15,1	6,3
Производительность	6 тонн в час				

Сравнительные показатели работы ЭЗМ-Р и механич. овсюгоотборника системы Ватт-зерно приведены в табл. 2. Исходный материал — овес сорта «победа», колхоз им. Жданова Челябинской обл.

Таблица 2

Показатели	Исходный материал	Выход по фракциям					
		ЭЗМ-Р				Овсюгоотборник	
		1	2	3	4	1	2
Семян осн. культур (%), в т. ч.:	95,09	—	99,32	99,6	98,02	98,7	70,08
голых (%)	3,71	—	0,07	10,65	0,02	2,45	0,38
овсюга (шт/кг)	1413	—	71	1110	11420	300	4800
Вес 1000 зерен (г)	38,35	—	42,06	33,77	22,10	38,07	37,38
Пленчатых зерен на 1000 шт. семян овса	640	—	775	400	140	647	571
Выход фракции (%)	100	—	70	20	10	75	25
Всхожесть (%)	90,70	—	94,0	87,5	—	90,75	—

Каждая электрозерновая машина может работать самостоятельно и выполнять перечисл. операции с зерном засоренностью до 4—5%. Сортировку и восстановление посевных св-в семян воздействием электрич. поля можно осуществлять и в том случае, если не предусматривается очистка.

Чтобы судить о возможности разделения частиц зерновой смеси в поле коронного разряда или ориентации в электростатич. поле, необходимо оценить, в каком диапазоне изменяется критерий разделения $C_р$ или критерий времени ориентации $C_о$. Для ЭЗМ-К тангенс угла наклона траектории эллипсоида, расположенного длинной осью вдоль поля, пропорционален

$$C_{рк} = \frac{1}{ab\delta_ф}, \qquad (1)$$

Для ЭЗМ-Б угол отрыва частиц, имеющих форму эллипсоида, зависит от величины

$$C_{рб} = \frac{\mu(R)}{b\delta_ф}\left[1+\frac{\mu(R)}{k_ф k}\right], \qquad (2)$$

где $k_ф$ — коэфф. формы, характеризующий ослабление внешнего поля внутри эллипсоида и зависящий от диэлектрич. проницаемости зерна и от коэфф. сферичности $k = \frac{b}{a}$ [8].

Ур-ния (1) и (2) указывают, что на поведение частиц в поле коронного разряда влияют не только их длина a, ширина b и уд. в. d, но и коэфф. формы $k_ф$. Критерий разделения для ЭЗМ-Б дополнительно определяется ф-цией $\mu(R)$, зависящей от сопротивления частицы. Разделение по форме более эффективно на ЭЗМ-Б, что видно из (2). Следовательно, критерий разделения это — численное выражение совокупности электрич. и механич. св-в частицы зерновой смеси, определяющее возможность ее разделения в электрич. поле при данных технологич. и конструктивной особенностях электрозерновой машины.

Критерий времени ориентировки $C_о$ характеризует возможность разделения частиц на решете при наложении электростатич. поля. Это — также численное выражение совокуп-

ности электрич. и механич. св-в частицы, определяющее время ее ориентировки при перемещении в межэлектродном пространстве в электростатическом поле

$$C_0 = a\sqrt{k_и d/\Phi_2}, \qquad (3)$$

где $k_и$ — инерционный коэфф. формы частицы, Φ_2 — коэфф., характеризующий влияние формы и диэлектрич. проницаемости частицы на величину вращающего момента, действующего со стороны поля. Вариац. кривые разделения семян различных культур на ЭЗМ-К по критерию разделения приведены на рис. 4, 5, 6.

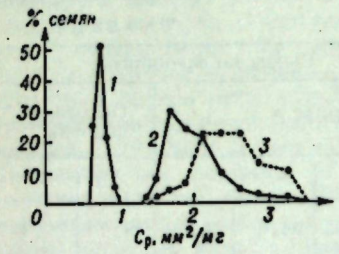


Рис. 4. Вариац. кривые разделения пшеницы «искра» в поле коронного разряда: *1* — пшеница; *2* — овсюг; *3* — куколь.

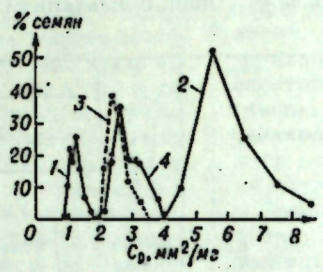


Рис. 5. Вариац. кривые разделения ржи «вятка» в электрич. поле: *1* — рожь; *2* — костер; *3* — гречишка вьюнковая; *4* — василек.

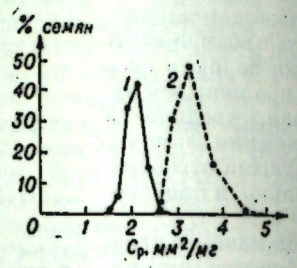


Рис. 6. Вариац. кривые отделения семян клевера от щирицы в поле коронного разряда: *1* — клевер; *2* — щирица.

Электрич. поля оказывают влияние на биологич. св-ва семян. В результате многолетних опытов на полях колхозов и совхозов, проведенных Челябинским ин-том механизации и электрификации сельского х-ва (ЧИМЭСХ), а также этим ин-том совместно с кафедрой ботаники Челябинского педагогич. ин-та, Уральским и Сибирским н.-и. ин-тами сельского х-ва, установлено: 1) биологически живые семена, но имеющие низкую всхожесть и энергию прорастания, значительно улучшают эти показатели при обработке их в поле коронного разряда или электростатич. поле (рис. 7 и 8). Интенсивность ростовых процессов в начальный период прорастания семян, как показатель силы начального роста, приведена на рис. 9; 2) электрич. обработка семян повышает выживаемость и урожайность растений даже при неблагоприятных погодных условиях. Так, у лучшего варианта пшеницы сорта «диамант» (Уралниисхоз Свердловской обл., 1958) выживаемость была на 31%, а у сорта «лютесценс 758» на 25% выше по сравнению с контрольными посевами. Урожайность на опытных участках (метровках) повышалась до 25% и более.

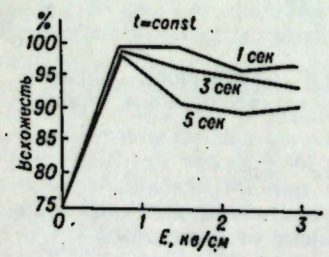


Рис. 7. Изменение всхожести семян при обработке полем коронного разряда.

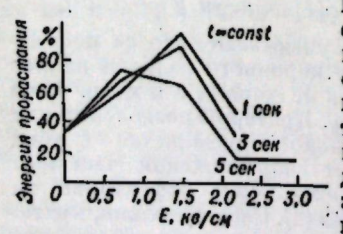


Рис. 8. Изменение энергии прорастания при обработке полем коронного разряда.

С 1954 ведутся опыты по изучению влияния электрич. полей на биологич. качества зерна в лабораторных условиях и на делянках в полевых условиях (повторность каждого варианта опыта 4-кратная), а с 1958 — в производств. условиях на больших площадях. В 1964 совхоз Миасский Челябинской обл. посеял пшеницу сорта «искра» на контрольном участке в 250 *га*, на опытном — 50 *га* и ячмень «донер» на контрольном участке в 190 *га* и на опытном — 26 *га*. Семена пшеницы, обработанные полем коронного разряда, в данном случае дали прибавку в урожае по сравнению с семенами, обработанными электрич. полем (контроль), в пересчете на 16,4%, семена ячменя 27%. Уборка производилась комбайном.

Были высказаны предположения и в дальнейшем проведены опыты для объяснения влияния электрич. полей на биологич. св-ва семян.

Результаты опытов позволили решающим фактором, влияющим на повышение посевных качеств семян, считать напряженность (оптим. величина 4,5—5 *кв/см*). Величина заряда положительно дополняет воздействие напряженности на биологич. качества семян.

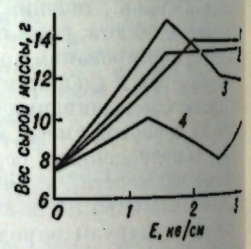


Рис. 9. Вес сырой массы ста проростков семян пшеницы «лютесценс 758» при обработке: *1* — полем коронного разряда, зерно расположено на отрицат. электроде (t=1 сек.); *2* — электростатич. полем без воздушного зазора с расположением зерна в несколько слоев на положит. электроде (t=3 сек.); *3* — электростатич. полем с воздушным зазором и с расположением зерна в один слой на положит. электроде (t=5 сек.); *4* — электростатич. полем без воздушного зазора с расположением зерна в один слой на положит. электроде (t=3 сек.).

Опытные исследования влияния электростатич. поля и поля коронного разряда на хлебопекарные св-ва зерна обнаруживают при определ. режимах электрообработки повышение качества клейковины, увеличение объема вы-

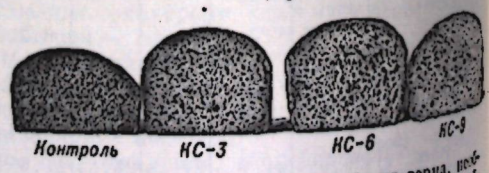
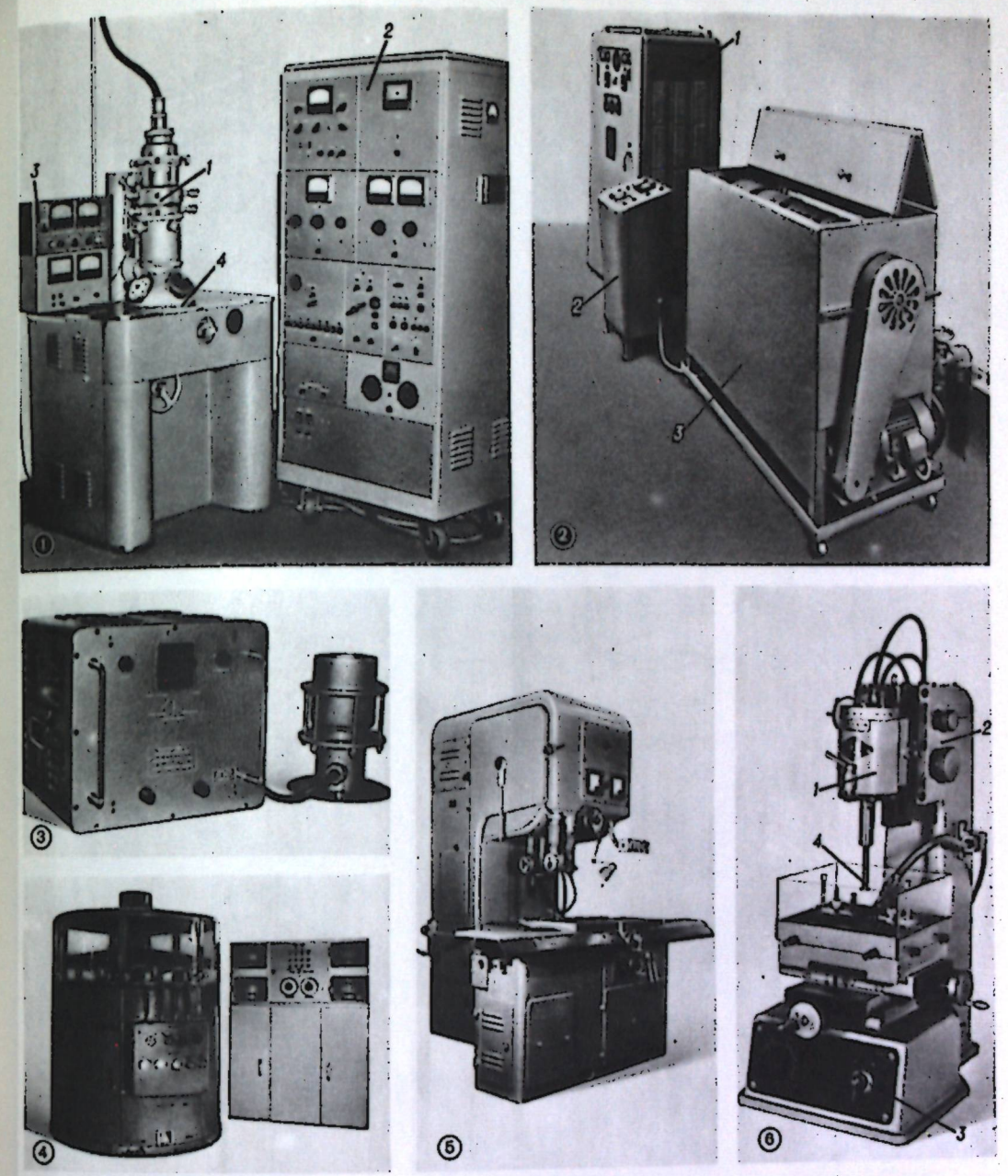
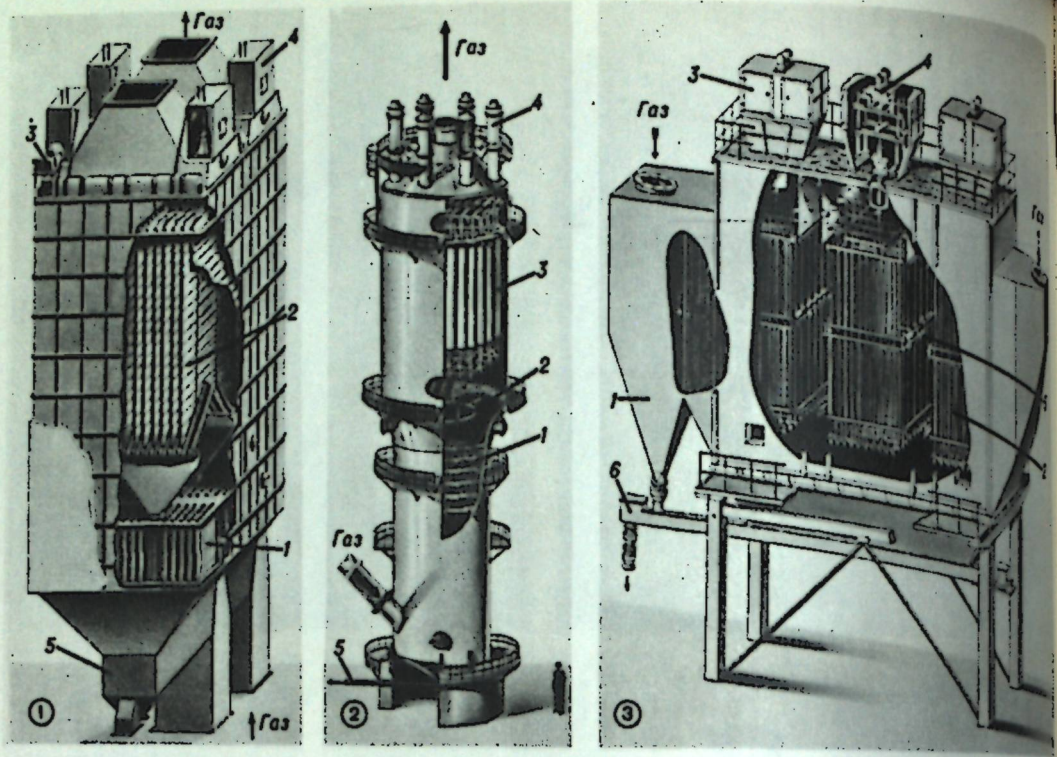


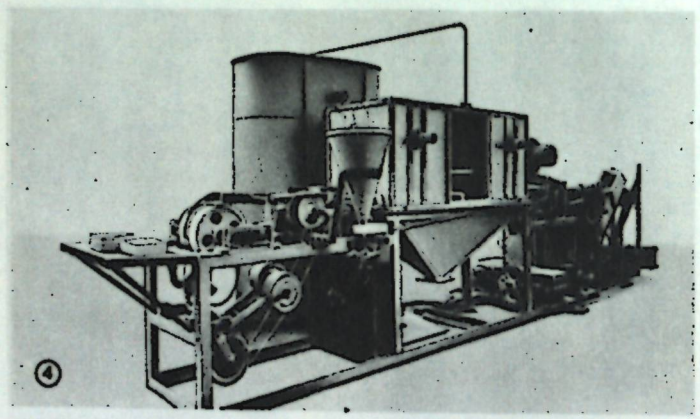
Рис. 10. Сравнит. выпечка хлеба из зерна, необработанного электрич. полем (контроль) и обработ. электрич. полем в разных режимах.

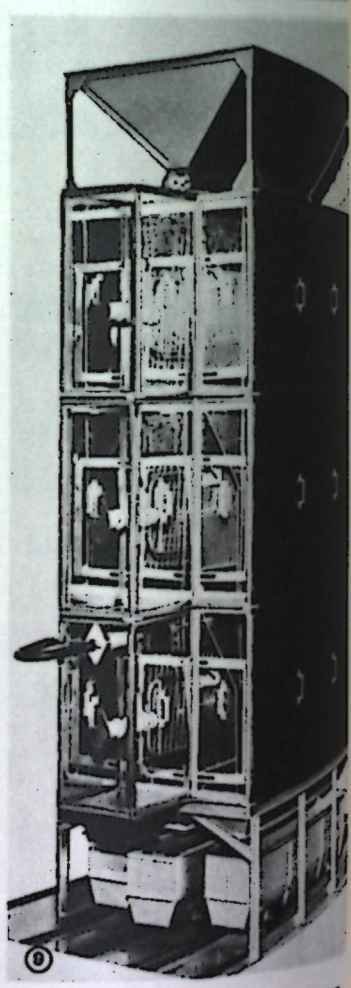
печенного хлеба на 19—25%, улучшение его вкуса, пористости, снижение залипаемости [1] (рис. 10). Помол зерна проводился спустя



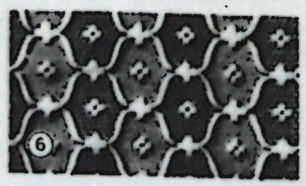
1. К ст. Электронолучевая обработка. Установка для обработки электронным лучом: *1* — электронно-оптическая система; *2* — пульт управления; *3* — вакуумметры; *4* — рабочая камера. 2, 3, 4. К ст. Ультразвуковая очистка. 2. Механизированная ультразвуковая установка для очистки деталей с дистанционным управлением: *1* — генератор; *2* — пульт управления; *3* — ультразвуковая ванна. 3. Ультразвуковая настольная установка для очистки мелких деталей. 4. Механизированный ультразвуковой агрегат для очистки мелких деталей от жировых и механических загрязнений. 5. К ст. Электрофизическая и электрохимическая размерная обработка материалов. Ленточный анодно-механический станок для разрезки заготовок. 6. К ст. Ультразвуковое резание. Ультразвуковой станок: *1* — вибратор; *2* — механизм подачи; *3* — панель управления; *4* — инструмент. 7. К ст. Электроконтактная обработка. Электроконтактный станок для обдирки перед прокатом многогранных слитков. 8. К ст. Управляющая цифровая машина. ЦВМ «Днепр».

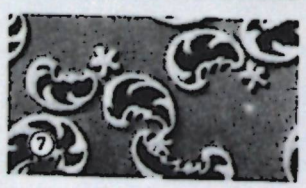














1, 2, 3. К ст. Электрофильтры. 1. Комбинированный сухой пылеуловитель: *1* — батарейный циклон; *2* — вертикальный пластинчатый электрофильтр; *3* — механизм встряхивания электродов; *4* — высоковольтный ввод; *5* — труба для удаления уловленной пыли. 2. Комбинированный мокрый пылеуловитель (скруббер-электрофильтр): *1* — скруббер с насадкой, орошаемый водой; *2* — оросители брызгального типа; *3* — трубчатый мокрый электрофильтр; *4* — высоковольтный ввод; *5* — труба для удаления шлама. 3. Горизонтальный пластинчатый трехпольный электрофильтр: *1* — корпус; *2* — электроды; *3* — высоковольтный ввод; механизмы встряхивания: *4* — коронирующих и *5* — осадительных электродов; *6* — устройство для удаления пыли. 4. К ст. Электроглазурование. Установка для электроглазурования керамических плиток. 5, 6, 7. К ст. Электроворсование. Ворсовый материал, полученный с помощью электроворсования. 8. К ст. Электронно-ионная технология. Автоматический конвейер для электронанесения порошка: *1* — электростатический генератор; *2* — резервуар для порошка; *3* — щит управления; *4* — распылитель; *5* — камера с покрываемыми деталями; *6* — бункер для неприлипшего порошка. 9. К ст. Электросепарация. Коронный камерный электросепаратор.

Таблица 3

Показатели	Исходный материал	ЭЗМ-Б		ЭЗМ-Р		Примечание
		первая фракция	отход	первая фракция	отход	
Семена осн. культур (%)	89,65	97,4	67,62	99,62	89,6	Исходный материал — овес. Место обработки — Челябинский крупозавод, 1960 г.
Абс. вес (*г*) . . .	32	37,2	28,4	44,4	26,3	
Количество овсюга (*шт/кг*) . .	3070	600	11040	19	2480	

одну неделю после обработки электрич. полем; после помола мука созревала 2 мес.

Характер процессов электронно-ионной технологии и конструктивные особенности электрозерновых машин позволяют осуществить поточную линию подработки зерна как для семенных, так и для продовольств. целей. Поточная линия электрозерновых машин предусматривается для подработки зерна высокой (до 10—15%) засоренности. Поточная линия комплектуется последовательно электрозерновыми машинами типа ЭЗМ-К, ЭЗМ-Б и ЭЗМ-Р. Результаты работы поточной линии при пропуске исходного зернового материала через ЭЗМ-Б и затем первой его фракции через ЭЗМ-Р даны в табл. 3.

Практика показала, что если одна из электрозерновых машин наиболее четко разделяет смесь по присущему для нее критерию, но не в состоянии полностью учесть др. св-ва зерна, то следующая за ней машина восполнит этот пробел соответственно своему критерию разделения.

При сравнении технико-экономич. показателей поточных линий механич. машин (ОСВ-10, две ОСМ-3У и овсюгоотборник) и электрозерновых машин (ЭЗМ-К, ЭЗМ-Б и ЭЗМ-Р) установлено, что у 2-й линии ниже: затраты труда на тонну зерна (по исходной производительности) на 51,9%, прямые затраты в 2,5 раза, а потребление электроэнергии на 8,9 *квт-ч*.

Намечается выгода от применения электронно-ионной технологии в садоводстве. В опытах морфологически нижние концы черенков с одним узлом обрабатывались электростатич. полем высокой напряженности. Было установлено, что окоренение начинается с того узла, на который непосредственно действовало электростатич. поле, причем значение имела как величина напряженности, так и продолжительность воздействия.

Перспективным оказалось также применение электростатич. поля (напряженностью 2, 3, 4 *кв/см* при времени воздействия 10, 20, 30 сек.) в качестве стимулятора на срастание прививочных компонентов.

Проводились также опыты по изучению влияния электростатич. поля на биологич. качества пыльцы [2]. Относит. длина пыльцевых трубок и процент проросших пыльцевых зерен в нек-рых режимах электрообработки увеличились более чем в 2 раза. Время прорастания пыльцы по сравнению с контролем сократилось в 1,4—4 раза. Результаты полевых опытов показывают, что стимулирующее влияние электростатич. поля на пыльцу проявляется не только при прорастании ее на искусств. питат. среде, но и при проросте пыльцевых трубок в тканях пестика и вследствие этого сказывается и на оплодотворяющей способности пыльцы.

Лит.: 1) Басов А. М., Шмигель В. Н., Влияние электрических полей на хлебопекарные качества зерна, в кн.: Новые физические методы обработки пищевых продуктов, Киев, 1963; 2) Басова А. М., Потанина Н. Д., Шмигель В. Н., Стимуляция прививок яблони электрическим полем, «Тр. Челябинского ин-та механиз. и электрификации с. х.», 1963, вып. 15; 3) Потанина Н. Д., Шмигель В. Н., Влияние электростатического поля высокого напряжения на пыльцу некоторых плодовых культур, «Ботанический журнал», 1960, т. 45, № 2; 4) Олофинский Н. Ф., Электрические методы обогащения, 2 изд., М., 1962; 5) «American Miller», 1955, № 1; 6) Radimsky O., Elektrostatické čistění obilí, «Za socialistické zemědělství», 1956, roč. 6, № 19; 7) Басов А. М., Латев А. В., Калибрование семян кукурузы и сортирование продуктов переработки в поле коронного разряда. Тезисы докладов на научной конференции по вопросам хранения и промышленной переработки кукурузы, М., 1961; 8) «Тр. Челябинского ин-та механиз. и электрификации с. х.», 1961, вып. 12.

А. М. Басов.

ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ КОНСТРУИРОВАНИЕ функционально-узловым методом (electronic apparatus design; constitution de l'appareillage électronique; Projektierung einer elektronischen Anlage) — проектирование электронной аппаратуры серийного производства, основанное на использовании типовых модульных и функциональных узлов. В начальный период развития электроники применялись методы Э. а. к., заимствованные главным образом у электротехнич. аппаратостроения. Массовое изготовление сопротивлений, конденсаторов, индуктивностей и радиоламп, вызванное ростом произ-ва *электронных приборов*, повлекло к стандартизации перечисленных элементов электронных схем, на основе к-рой получило развитие поблочное Э. а. к. Производство ЭВМ с множеством однотипных блоков вызвало появление *блока стандартного*. Метод получил распространение во всех областях Э. а. к., и в процессе его совершенствования выработались принципы функционально-узлового проектирования, при к-ром элементом унифицированного функционального узла массового произ-ва является *модуль*.

Модульные узлы собираются на плате и образуют функциональный узел (ФУ), расчет к-рого сводится к определению площади и объема, занимаемого ФУ, способа соединения модулей, их оптимального размещения, сокращающего число соединит. ручейков и перемычек. Эти данные необходимы для изготовления платы, на к-рое требуется меньше времени, чем на изготовление шасси. Преимущества функционального метода: упрощается макетирование, составление схем, заданий на работу лаборантам и техникам, контроль за работой монтажника; снижаются затраты времени на проверку правильности соединений и работоспособности отдельных элементов, доработку макета; уменьшается участие инженеров в макетировании. В совр. модульных схемах количество номиналов питающих напряжений сведено к минимуму. На каждом лабораторном столе у техников и лаборантов имеются

источники с необходимыми напряжениями, точно равными напряжениям в будущей аппаратуре и согласованными с паспортными напряжениями модулей, что упрощает налаживание макета, улучшает условия работы лаборантов и техников, повышает их производительность труда и в целом повышает культуру производства.

Функционально-узловой метод исключает необходимость вести лабораторную разработку блока последовательными этапами, между к-рыми неизбежны паузы, и позволяет осуществлять ее широким фронтом путем одноврем. паралл. работы над отдельными узлами. Повысилась экономичность макетирования, т. к. модуль может использоваться после разборки макета повторно десятки раз.

Ведение Э. а. к. функционально-узловым методом на стадии лабораторной разработки требует: наличия запаса модулей всех типов, согласования конечных модулей параллельно разрабатываемых узлов по входному сопротивлению, четкого знания проектантами особенностей модулей, возможных вариантов их включения, методов их стыковки. Метод предполагает составление схемы каждого узла, разработку мер по обеспечению стабильности параметров блока при действии дестабилизирующих факторов, расчет термосопротивлений и определение мест их включения для поддержания необходимых температурных зависимостей выходных параметров узла. При соблюдении указанных требований неисправность в блоке устраняется простой заменой неисправного узла резервным, а время настройки и проверки блока сокращается в 4—10 раз.

При функционально-узловом методе Э. а. к. появилась возможность совместной и параллельной работы лабораторий и конструкторских отделов, т. к. блок стал представлять ряд типовых схем ФУ, состоящих, в свою очередь, из унифицированных модулей (рис. 1). При

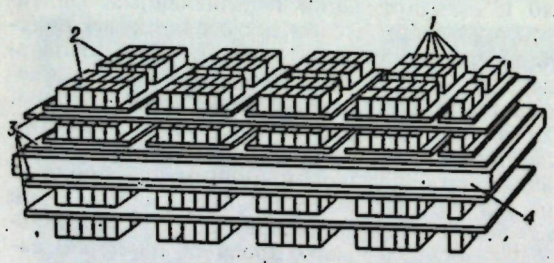


Рис. 1. Конструкция блока при его конструировании по функционально-узловому методу: *1* — модули; *2* — функциональные узлы; *3* — платы; *4* — рама.

этом соблюдаются след. принципы Э. а. к. Для обеспечения макс. плотности монтажа оптимальным является случай, когда из трех размеров модуля переменным сделан только один. При переменной высоте модуля плохо используется объем, т. к. разные схемы требуют разной высоты. Поэтому в качестве переменного размера избирают длину или ширину модуля, стремясь, чтобы шаг размера имел кратное нарастание.

Распространение получили: а) плоские модули типа «Элемент-2» (рис. 2) с переменным размером ширины платы модуля 26,54 и 82 *мм*, длиной 34 *мм*, с гарантированным зазором между платами 2 *мм*, с платой из облагороженного гетинакса, печатным монтажом, отверстиями для закрепления элементов, расположением элементов в один слой рядом друг с

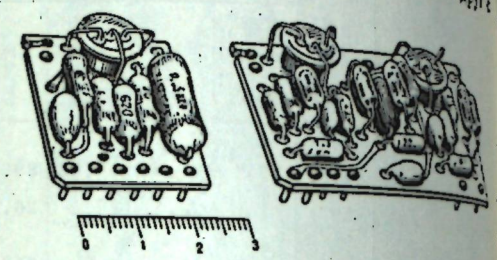


Рис. 2. Однократные и двукратные плоские модули типа «Элемент-2».

другом и выходными точками схемы в виде контактов, запрессованных по ширине модуля; б) объемно-плоские модули (рис. 3); с-

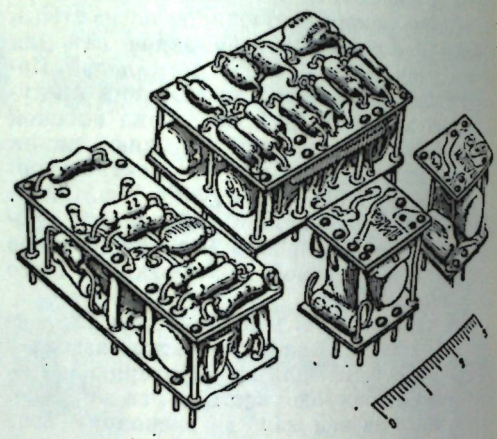


Рис. 3. Объемно-плоские модули.

личаются от плоских модулей расположением элементов в два яруса на двух отдельных платах, соединенных между собой стойками-перемычками, имеют типовые размеры 13×17, 27×17, 41×17 и 27×35 (*мм*) с гарантированным зазором 1 *мм* и плотностью монтажа от 0,95 до 1,76 детали в *см*³. Избранные размеры позволяют использовать оба типа плат в одних и тех же ФУ.

Дальнейшее снижение веса и габаритов электронной аппаратуры связано с освоением новых материалов (спец. сплавов, керамики, фотоэлектриков, ПП и др.), позволивших разработать *микроэлементы* и с их помощью конструировать *микромодули*, использование к-рых положило начало методу *микроминиатюризации*. Получили распространение микромодули след. типов: а) этажерочные — на керамических платах 9,6×9,6 (*мм*), имеющих по три металлизированных паза с каждой стороны, к к-рым подключены печатными проводниками выводы от микроэлементов; в пазы впаиваются проволочные выводы, позволяющие собрать в «этажерку» необходимое число плат с микроэлементами на общей печатной плате вертикально (рис. 4, *а*) или горизонтально (рис. 4, *б*); б) плоские — на одной плате (рис. 5) с двухсторонним расположением микроэлементов и двухсторонним печатным монтажом на плате, с выходными точками схемы модуля, выполненными в виде запрессованных контактов по всем 4 сторонам, с переменным размером 9, 13, 17, 21, 25, 29 и

33 *мм* и вторым постоянным размером 17 *мм*, с гарантированным зазором 1 *мм*.

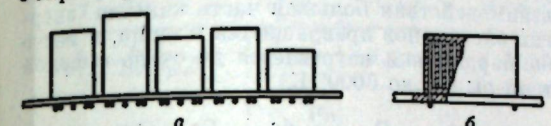


Рис. 4. Этажерочные микромодули на печатной плате: *а* — собранные вертикально, *б* — собранные горизонтально.

Функциональные узлы (ФУ), в отличие от модулей, не имеют определ. огранич. числа типоразмеров, но т. к. они состоят из модулей, имеющих огранич. число типоразмеров, то и размеры ФУ разнятся друг от друга на целое

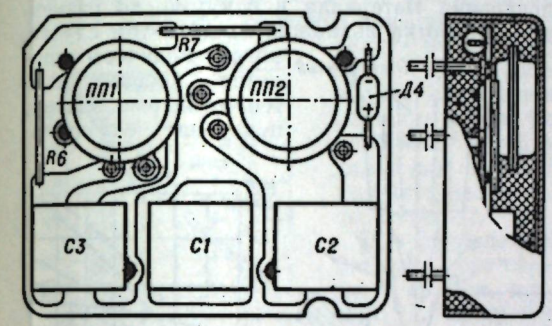


Рис. 5. Типовая конструкция плоского микромодуля.

число размеров модулей. Каждый ФУ собирается на одной плате из фольгированного изоляц. материала, на к-рой с одной стороны располагаются модули или микромодули с шагом и зазором, принятым для каждого типа модуля или микромодуля. Модули крепятся на платах методом пайки штырей — выходных контактов схем модулей. Для большей механич. прочности в отверстиях плат для штырей модулей могут устанавливаться пистоны. Если модули имеют выводы только с одной стороны, как, напр., в модулях типа «Элемент-2», то на остальных углах платы модуля устанавливаются холостые выводы. На платах, кроме унифицированных модулей, устанавливаются и неунифицированные модули той же конструкции, а также и отдельно располагаемые элементы.

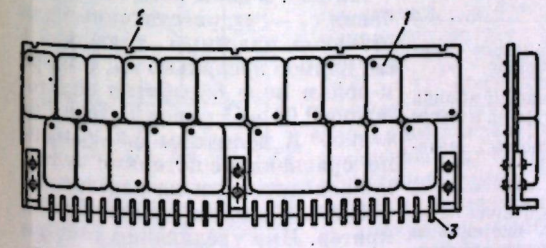


Рис. 6. Гребенчатая конструкция линейки на плоских микромодулях: *1* — плоский микромодуль; *2* — металлизированный паз для установки стяжек; *3* — внешний вывод.

На рис. 6 и 7 показаны ФУ на плоских микромодулях в вариантах гребенчатой и плоской конструкций.

Плоский принцип конструирования модулей и узлов приводит и к плоской конструкции размещения узлов в блоках. Большая плотность монтажа позволяет сосредоточить в одном объеме схему, к-рая заняла бы неск. блоков старой конструкции, и вместе с тем избежать межблочных кабельных соединений. Из соображений механич. прочности размеры блоков должны быть

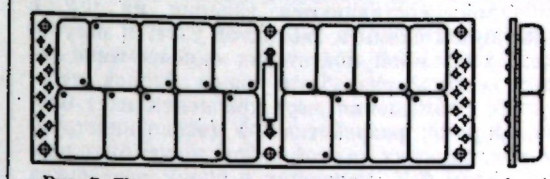


Рис. 7. Плоская конструкция линейки на плоских микромодулях.

ограничены, для чего каждый ФУ помещают на отдельной плате, а платы блоков компонуют в неск. этажей. Конструкция каждого этажа может быть различной. Кассетная конструкция облегчает замену блоков, но требует армирования плат кассет и корпуса блока спец. металлич. направляющими, что увеличивает объем блока и резко снижает плотность монтажа в блоке. Бескассетные платы блока соединяются между собой спец. стяжками с колонками между платами. Платы блоков делаются из фольгированного материала, на к-ром выполняется печатный монтаж ФУ. Платы больших размеров могут быть выполнены из металла, тогда монтаж может быть или проводный или печатный. Если монтаж печатный, дополнительно устанавливаются тонкие платы из фольгированного материала. Блок может иметь защитный кожух, к-рый в целях экономии веса можно снять перед установкой блока на объект.

При конструировании плат блоков с микромодулями возможно расположение модулей не на платах ФУ, а непосредственно на плате блока. При малых габаритах микромодулей, а следовательно и ФУ, не всегда целесообразно схему ФУ располагать на дополнит. плате, т. к. это приводит к увеличению числа паяных контактов, т. е. к снижению надежности и уменьшению плотности монтажа в блоке, что особенно резко сказывается при монтаже блоков счетно-решающих устройств, где имеется большая повторяемость узлов, узлы отработаны и не требуют отдельной настройки, проверка их нетрудоемка и ее можно вести в составе всей платы блока.

В результате применения объемно-плоских модулей, плоских микромодулей и выбора бескассетной конструкции блока достигается высокая плотность монтажа (см. табл.).

Метод монтажа	Плотность монтажа (*деталь/см*³)		
	в модуле	в ФУ	в блоке
Объемно-плоские модули	0,95—1,76	0,8	0,6
Плоские микромодули	3,5—10,0	2,5—5,0	1,25—2,5

Т. о., конструирование аппаратуры с применением функционально-узлового и модульного метода расчленило конструкцию блока на 4 осн. типовые конструкции: а) модуль; б) функциональный узел (плата узла с расположенными на ней модулями); в) плата блока с расположенными на ней платами ФУ; г) рама блока для крепления на ней плат блоков и др. необходимых ВЧ подстроечных и механич. узлов. В соответствии с этим расчленением принят след. порядок Э. а. к.: определяются габариты и число блоков станции; произво-

дится разбивка схемы на блоки (блок-схема), схем блоков на схемы плат и схемы плат на схемы ФУ с макс. числом унифицированных модулей; составляются задания на ФУ с указанием схемы и габаритов узла. В результате указанной подготовки одновременно может вестись: разработка рамы блоков, уточнения размещения мест крепления плат блоков к раме; разработка ФУ (число конструкторов, занятых на этой работе может быть равно числу ФУ, входящих в блок); разработка неунифицированных модулей. *Н. Я. Чернецов.*

ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВАЯ ОБРАБОТКА (electron beam treatment; traitement par faisceau électrique; Elektronenstrahlbehandlung) — обработка материалов, при к-рой роль режущего инструмента выполняет электронный луч, т. е. ускоренный, сфокусированный и управляемый поток электронов большой удельной мощности. Сущность процесса Э. о. заключается в локальном испарении в вакууме материала, нагретого электронной бомбардировкой до очень высокой темп-ры.

Э. о. применяется во многих областях техники для произ-ва микродеталей или микроэлементов деталей. В ПП пром-сти электронным лучом обрабатывают тонкие пленки, ферриты, производят пайку, сварку, фрезерование и сверление элементов микросхем, изготовление p — n-переходов в диодах, триодах и пр. В приборостроении Э. о. изготовляют гнезда подпятников и подшипников из твердых сплавов и кристаллов сапфира, рубина, алмаза; в машиностроении Э. о. пользуются для обработки тончайших каналов сложной конфигурации в высококачеств. стали, твердых сплавах и алмазах; в ракетной технике — микронных отверстий в форсунках двигателей; в электровакуумной пром-сти с помощью Э. о. создаются маски электронолучевых трубок, сетки клистронов, рассеивающие экраны и др.

Процесс взаимодействия электронного луча с твердым телом очень сложен. Он характеризуется проникновением электронов внутрь материала на нек-рую глубину, потерей энергии электронов по законам поглощения (табл. 1), ионизацией материала, появлением вторичной эмиссии и интенсивного светового и рентгеновского излучений и т. п. В результате взаимодействия большая часть кинетич. энергии электронов превращается в тепло, и место бомбардировки нагревается до очень высокой темп-ры (~ до 6000° К)

$$T=\frac{Q}{2k\sqrt{\pi}}\int_0^{a^2t}\frac{d\tau}{\sqrt{\tau}}=\frac{Qa}{k\sqrt{\pi}}\sqrt{t},$$

где Q — удельная мощность в пятне электронного луча на детали; t — время; $\tau=2$ [illegible] $a^2=\frac{k}{c\rho}$ — коэфф. теплопроводности; c — удельная теплоемкость и ρ — плотность материала. Ф-ла справедлива при $a^2t<0{,}07$ [illegible]. Поскольку Э. о. — это процесс локального испарения материала в вакууме, то размерная обработка возможна лишь в том случае, когда количество используемого тепла (нагрев, плавление, испарение) значительно

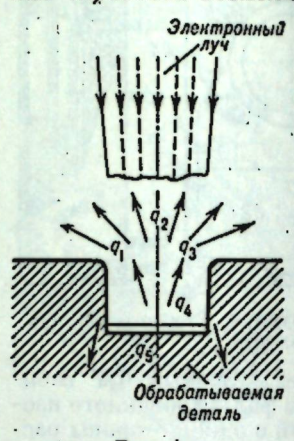


Рис. 1.

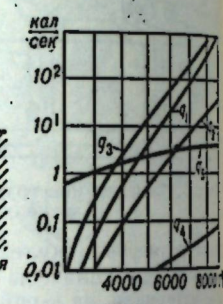


Рис. 2.

Рис. 1. Схема процесса размерной обработки материалов: q_1 — теплота, необходимая для нагрева материала до темп-ры T; q_2 — скрытая теплота плавления; q_3 — скрытая теплота испарения при темп-ре T; q_4 — потери на излучение; q_5 — потери вследствие теплопроводности.

Рис. 2. Зависимость баланса энергии от темп-ры.

но превышает непроизводит. потери от теплопроводности и излучения (рис. 1). Следовательно, точность и чистота Э. о. будут определяться параметрами электронного луча и теплофизич. св-вами обрабатываемого материала.

На рис. 2 даны количеств. значения q_1 — q_5, рассчитанные для стальной пластины толщиной 1 *см*, длиной несколько *см*, темп-ра к-рой в зоне обработки на площадке 0,01 *мм*² равна T. При T = 2000° К величины q_1—q_3 мало по сравнению с потерями от теплопроводности, и на изделии образуется только оплавленный кратер. При увеличении темп-ры q_1 — q_3 растут по экспоненц. закону, а потери — примерно по линейному. В результате при T = 3500° К q_1 — q_3 превосходят потери q_5, следы оплавления исчезают, а на детали образуется углубление с четкими кромками.

Уд. мощность электронного луча — осн. параметр, определяющий возможность выполнения той или иной электронно-лучевой мич. операции. Из рис. 3 видно, что необходимая для Э. о. удельная мощность луча должна составлять 10^6 — 10^9 *вт/см*². Меньшие величины уже не обеспечивают эффекта размерной обработки, а позволяют осуществить лишь сварку материалов. Конкретные значения миним. уд. мощности, необходимой для Э. о. некрых материалов, даны в табл. 2.

Таблица 1

Параметры	Расчетные ф-лы	Принятые обозначения
Глубина проникновения электронов X	$X=\frac{4}{6}\left(\frac{e}{m}\right)^2\left(\frac{U_0}{300}\right)^2$ или $X\approx 2{,}2\cdot 10^{-12}\frac{U_0^2}{\rho}$	U_0 — ускоряющее напряжение; $\frac{e}{m}$ — отношение заряда электрона к массе; ρ — плотность материала
Потеря энергии E и скорости v электрона на глубине X	$E_0^2-E_X^2=b_1X$; $v_X^2=v_0-\frac{b}{4}\left(\frac{m}{e}\right)^2X$	b_1, b — коэффициенты; v_0, E_0 — нач. скорость и энергия электрона
Давление электронов	$P_1=j\sqrt{2m/eU_0}$	j — уд. мощность электронного луча
Давление от реактивной силы испаряющегося материала	$P_2=\alpha j v_п/\lambda$	$v_п$ — скорость пара; λ — уд. энергия испарения; α — доля энергии электронного луча, идущая на испарение

Таблица 2

Материал	Ti	Ni	Fe	Al	Ta	Pt	Mo	Cu	W
$T_{пл}$ [°C]	1800	1452	1535	658	2900	1770	2630	1083	3400
$C\left[\frac{кал}{см\cdot сек\cdot град}\right]$	0,036	0,215	0,174	0,214	0,13	0,167	0,35	0,92	0,2—0,47
Уд. мощность [*вт/см*²]	$(3{,}8-5)\cdot10^6$	$(8-9)\cdot10^6$	$(8{,}5-10)\cdot10^6$	$(1{,}5-3)\cdot10^7$	$(1{,}5-1{,}8)\cdot10^7$	$(1{,}7-1{,}9)\cdot10^7$	$(2{,}7-3)\cdot10^7$	$(2{,}9-3{,}1)\cdot10^7$	$(2{,}8-3{,}4)\cdot10^7$



Рис. 3. Зоны различных видов обработки материалов электронным лучом.

Ti — тугоплавкий металл — для обработки требует меньшей уд. мощности, чем более легкоплавкий Ni. Это объясняется лишь плохой теплопроводностью титана. В то же время для обработки Cu и W необходимая уд. мощность лежит в пределах $(2{,}8-3{,}4)\cdot10^7$ *вт/см*²; разница в темп-рах плавления компенсируется хорошей теплопроводностью меди.

Эффективность Э. о. увеличивается при применении импульсного электронного луча. В этом случае повышается уд. мощность луча, резко возрастает градиент темп-р, что снижает непроизводит. потери тепла. Зависимость распределения темп-ры вплоскопараллельной пластине толщиной d от времени теплового воздействия показана на рис. 4. Левая грань пластинки ($x/d=0$) мгновенно нагрета до темп-ры T_1, а правая ($x/d=1$) сохраняет темп-ру T_2. При стационарном нагреве (непрерывный луч) распределение темп-р по толщине соответствует линейному закону; импульсный нагрев вызывает спад темп-р тем более резкий, чем меньше время теплового воздействия.

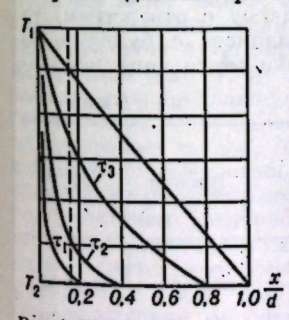


Рис. 4. Распределение темпры в пластине при различном времени воздействия электронного луча ($\tau_1<\tau_2<\tau_3$).

Принцип. схема установки для Э. о. дана на рис. 5. Источником электронов является прямонакальный вольфрамовый катод K из проволоки диаметром 0,2 *мм*. Ускоренный и сфокусированный электронной пушкой *1* поток электронов, выходя за пределы анода A, направляется по электроннооптич. оси системы с помощью механизма механич. или электромагнитной юстировки *2*. Находящаяся на пути потока электронов диафрагма *3* отсекает рассеянные электроны, а расположенный ниже стигматор *4* позволяет корректировать форму поперечного сечения луча. Фокусирующая магнитная линза *6* концентрирует поток электронов в месте обработки, а отклоняющая система *7* позволяет осуществить развертку луча по обрабатываемому изделию *8*.

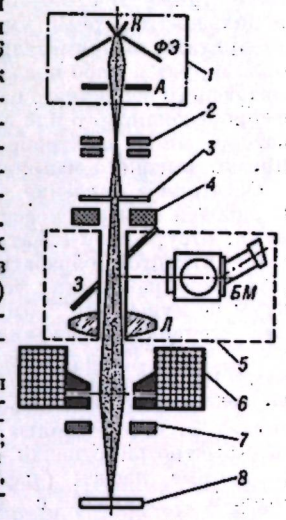


Рис. 5. Принципиальная схема электроннооптической системы: *ФЭ* — фокусирующий электрод; *5* — оптическая система наблюдения (*З*—зеркало, *Л*—линза, *БМ*—бинокулярный микроскоп).

Получение тонких электронных зондов (диаметром ≈ 1 *мк*) связано с трудностями, к-рые определяются распределением тепловых скоростей электронов по закону Максвелла, возможным расталкиванием электронов (действие пространств. заряда) и аберрациями электроннооптич. линз. Ограничение миним. диаметра луча, накладываемое действием пространственного заряда при напряжениях порядка 80—150 *кв* и токах 0,3—0,5 *ма*, ничтожно мало и его влиянием можно пренебречь. Хроматические аберрации почти полностью устраняются стабилизацией ускоряющего напряжения и тока возбуждения магнитных линз. Наибольшие трудности вызывают геометрич. аберрации, гл. обр. сферическая, к-рая приводит к уширению луча, т. е. к снижению плотности тока или плотности энергии. Коррекцию сферич. аберрации произвести чрезвычайно трудно, а механизмы корректировки сложны и ненадежны в работе.

С учетом действия тепловых скоростей электронов и сферич. аберрации магнитной линзы миним. диаметр поперечного сечения луча:

$$d_{min}=S\,(i/U_0)^{3/8},$$

где

$$S=\left(\frac{16^{1/2}k}{\pi e}\,C_{сф}^{2/3}\,f^{2/3}\,\frac{T}{j}\right)^{3/8},$$

а макс. уд. мощность в пятне:

$$j_{max}=\frac{1}{\pi}\left(\frac{2}{S}\right)^2 i^{1/4}U_0^{7/4}.$$

Здесь: i — ток луча; T — темп-ра катода; f — фокусное расстояние магнитной линзы; $C_{сф}$ — коэффициент сферической аберрации; $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23}$; e — заряд электрона.

Из ф-л следует, что для увеличения уд. мощности в пятне и уменьшения его диаметра необходимо снижать темп-ру катода, улучшать электронную оптику (уменьшать сферич. аберрацию) и увеличивать ускоряющее напряжение за счет нек-рого снижения силы тока. Однако чрезмерный рост напряжения нецелесообразен из-за увеличения интенсивности проникающего рентгеновского излучения и значит. затрат на изоляцию. В настоящее время ускоряющее напряжение на электроннолучевых установках не превышает 150 *кв*.

Для получения высокого (80—150 *кв*) стабилизированного (10^{-3}—10^{-4}) напряжения используют повышающие тр-ры, а затем производят выпрямление напряжения и фильтрацию гармоник. В схемах выпрямителей применяют также ВЧ (30—50 *кгц*), позволяющие использовать схемы умножения при малых габаритах выпрямителя. Напряжение стабилизируется либо поддержанием постоянства питающего первичного напряжения с помощью феррорезонансного или электронного стабилизатора, либо электронной стабилизацией выпрямл. высокого напряжения.

Остаточное давление в электронной пушке и рабочей камере определяется двумя факторами: отсутствием электрич. пробоя и требуемой чистотой обрабатываемого материала. Для выполнения этих условий достаточен вакуум не хуже $5 \cdot 10^{-4}$ *мм рт. ст.* Более высокая степень разрежения в рабочей камере ($5 \cdot 10^{-9}$—10^{-10} *мм рт. ст.*) требуется при обработке ПП и тонких пленок. Ввиду сравнительно небольшого откачиваемого объема в установках Э. о. применяют форвакуумные насосы с быстротой откачки ~ 7 *л/сек* и высоковакуумные насосы (диффузионный, молекулярный, ионный) с производительностью ~500 *л/сек*. Пары масла удаляются вымораживающими ловушками. Применение вакуумных уплотнений, требующихся при сочленении отдельных узлов установки, и передача в вакуум поступательного и вращательного движения координатного стола создают серьезные трудности в поддержании сверхвысокого вакуума.

Электроннолучевые установки для обработки материалов созданы во многих странах; наиболее совершенна установка фирмы «Карл Цейс» (ФРГ).

Для сравнения параметры нек-рых установок сведены в табл. 3; на вклейке показан внешний вид установки, разработанной в СССР, а на рис. 6 — принцип. схемы ряда установок для Э. о. По схеме *а* созданы установки в СССР, Японии и ГДР; по схеме *б* —в СССР и ФРГ.

Обработка микроэлементов размером меньше 1 *мк* сталкивается с трудностью получения луча малого поперечного сечения и большой плотности энергии. Однако существуют методы, использующие др. виды взаимодействия электронов с материалом, напр. химические. Известно, что органич. пленки, подвергнутые электронному облучению, теряют водород, азот и кислород и почти полностью превращаются в углерод. Этот принцип заложен в установке для изготовления тонких сеток и объектмикрометров, тестообъектов и микрорисей (рис. 6, *в*). Электронный луч с малой угловой апертурой, сформированный двухлинзовым конденсатором $Л_0$, проходит через щель или отверстие (4 *мк*) диафрагмы $Д_1$, лежащей в верхней фокальной плоскости объектива $Л$. Объектив создает изображение щели или отверстия (уменьшенное примерно в 100 раз) в плоскости второй диафрагмы $Д_2$, на к-рой располагается колодиевая пленка. Электроны с энергией 60 *кэв*, проходя сквозь пленку, фиксируются на флюоресцирующем экране. Если использовать объектив в режиме уменьшения, то сдвиг щели в плоскости объекта на 1 *мк* вызовет перемещение изображения щели на колодиевой пленке на 100 Å. Если вместо щели использовать диафрагму с отверстием, то можно делать микронадписи с буквами не более 0,5 *мк*. Установки этого типа исполь-

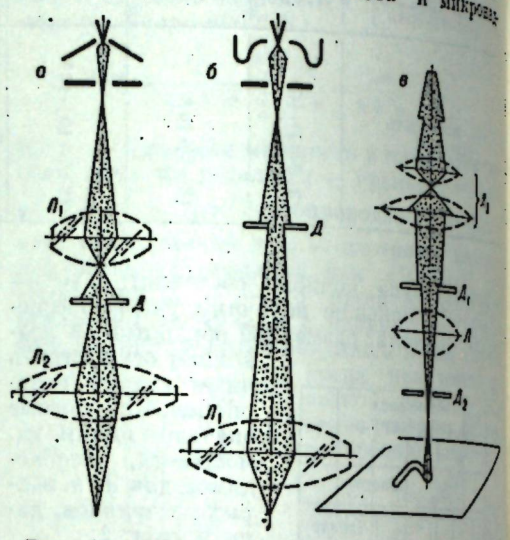


Рис. 6. Принцип. схемы электроннооптич. систем для электроннолучевой обработки: $Л_0$, $Л_2$ — магнитные линзы.

Таблица 3

Параметры установки \ Страны	ФРГ	ГДР	Япония	СССР
Ускоряющее напряжение (*кв*)	25—150	80	30—80	50—100
Ток электронного луча (*мка*)	до 800	300—500	до 300	до 1000
Миним. диаметр электронного луча (*мк*)	5—10	5	30—50	10
Отклонение электронного луча по детали (*мм*)	± 4	—	±6	±4
Модуляция электронного луча с частотой (*гц*)	50—10000	—	—	—
Длительность модулирующих импульсов (*мксек*)	10—100	—	—	—
Вакуум (*мм рт. ст.*)	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-5}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Юстировка	Механич. и электромагнитная	Механич. и электромагнитная	Механическая	Механич. и электромагнитная
Стигматор	Есть	—	—	Есть
Система наблюдения	По оси на просвет и отражение	Только на просвет	Отражение под углом 45°	По оси на просвет и отражение

зуются как микроманипуляторы для записи информации и изготовления электрич. микроэлементов.

Микроэлементы можно выполнить и др. технологич. приемами. Напр., щелевые диафрагмы шириной 0,5 *мк*, длиной 50 *мк*, расположенные на расстоянии 1—2 *мк* друг от друга, были получены следующим способом (рис. 7, *а*). При облучении электронным лучом *ЭЛ*

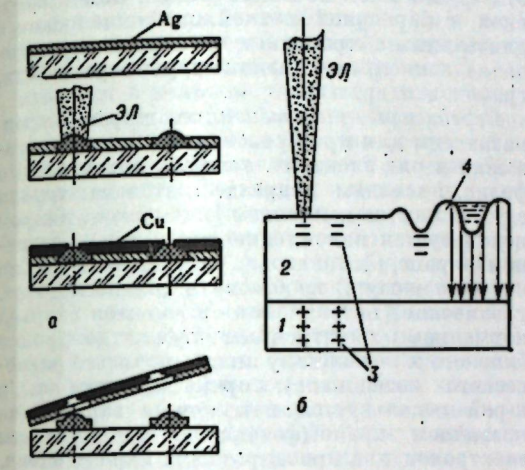


Рис. 7. *а* — Процесс изготовления щелевых диафрагм; *б* — процесс записи информации на термопластике: *1* — токопроводящая пленка; *2* — термопластик; *3* — электрич. заряды; *4* — термопластик после нагрева и деформации.

тонкого (200 Å) слоя серебра, покрывающего стеклянную пластинку, вследствие полимеризации паров масел образуется изоляц. углеводородная пленка. При последующем электролитич. осаждении меди место электронной бомбардировки остается не покрытым. Удаленный со стекла двойной слой Ag — Cu представляет собой свободную щелевую диафрагму. Энергия луча при выполнении такой операции не превышает $1{,}5 \cdot 10^3$ *вт/см²* при ускоряющем напряжении 50 *кв*.

Новый метод записи электрич. сигналов основан на использовании взаимодействия электронного луча с легкоплавким термопластич. материалом (рис. 7, *б*). Термопластик, покрывающий токопроводящую пленку, подвергается воздействию луча, ток в к-ром изменяется по программе записи. Локальная зарядка поверхности термопластика и нагрев до темп-ры плавления приводят к деформации поверхности под действием электростатич. сил. При охлаждении запись «застывает» и может сохраняться длительное время. Плотность записи информации $6{,}2 \cdot 10^4$ *мм⁻²* получена при энергии электронов 15 *кэв* и плотности тока 0,5 *а/см²*.

Различные методы Э. о. усиленно изучаются и развиваются; следует ожидать еще более широкого их внедрения в различные области пром-сти.

Лит.: Steigerwald K. H., «Schweissen und Schneiden», 1960, Bd 12, № 3, S. 89—95; Ardenne M. von, «Nachrichtentechnik», 1961, Jg. 11, № 8, S. 338—42; Calverley A., Davis M., Lever R. F., «J. Scient. Instrum.», 1957, v. 34, № 4, p. 142—147; Panzer S., Steigerwald K., «Elektrotechn. Z. A», 1960, Jg. 81, H. 26, S. 925—32; Bas E. B., Cremosnik G., Lerch H., «Schweiz. Arch. angew. Wiss. und Techn.», 1962, Jg. 28, № 3, S. 112—21; Steigerwald K., «Feinwerktechnik», 1962, Jg. 66, H. 2, S. 45—51; Ольшанский Н. А., «Автоматическая сварка», 1962, № 5, с. 18—24; Стрекаль Л. П., Назаренко О. К., там же, 1963, № 4, с. 7—11; Möllenstedt G., Jönsson C., «Z. Phys.», 1959, Bd 155, H. 4, S. 472—73; Jönsson C., там же, 1961, Bd 161, H. 4, S. 454—74; Glenn W. E., «J. Appl. Phys.», 1959, v. 30, № 12, p. 1870—73.

Н. Т. Островерхов, В. К. Попов.

ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВАЯ ТРУБКА,

электроннолучевой прибор [electron-beam (cathode-ray) tube; tube à faisceau électronique; Electronenstrahlröhre], — электронный электровакуумный прибор, в к-ром используется электронный поток в форме луча или пучка лучей. Наибольшее распространение электроннолучевые приборы (ЭЛП) получили в телевидении, осциллографии (измерит. технике), радиолокации, вычислит. технике, автоматике, радиотехнике, рентгенотехнике, электронной микроскопии, в технике преобразования невидимых (напр., инфракрасных) изображений в видимые, в ускорителях заряженных частиц и др. Достоинство ЭЛП: легкость управления почти безынерционным электронным лучом (пучком), как по плотности тока луча, так и по направлению луча при ничтожной затрате энергии; это делает их незаменимыми в ряде применений. Для ЭЛП характерно формирование электронных потоков в лучи (пучки) на пути их следования от источника (катода) к приемнику (аноду, экрану, коллектору, ламели переключателя, мишени и т. п.). Узкие электронные пучки дают возможность получить собирательные системы. К ним относятся электростатич. и магнитные линзы. Для воздействия на электронные потоки применяются различные отклоняющие, ускоряющие, модулирующие, фильтрующие (от ионов) и др. электроды (устройства). В ЭЛП используются электроннооптич. системы, в к-рых с помощью электрич. и магнитных полей обеспечивается требуемый характер движения электронов. По своему действию на потоки электронов они бывают: отклоняющими (преломляющими), отражающими, собирательными и рассеивающими. В качестве отклоняющей системы используется поперечное электрич. поле, созданное, напр., между пластинами плоского конденсатора, или поперечное однородное магнитное поле. Отражающие потоки создаются системой электродов с тормозящим электрич. полем. В различных видах ЭЛП применяются различные сочетания электроннооптич. систем. В зависимости от способа управления отклонением электронного луча различают ЭЛП с электрич. или с магнитным управлением, ЭЛП, имеющий форму трубки, вытянутой в направлении луча. В зависимости от числа используемых лучей различают: одно-лучевой, двухлучевой и многолучевой ЭЛП, а также ЭЛП с пучком лучей.

ЭЛП по назначению подразделяются на: электронографич. электровакуумные приборы (*приемная телевизионная трубка*, *осциллографическая трубка*, *запоминающая трубка*, *преобразователь функциональный электроннолучевой*); *передающие телевизионные трубки* (иконоскоп, иконоскоп с переносом изображения, ортикон, ортикон с переносом изображения, видикон, или трубка с фотоэмиссионным накопителем), трубка с вторичноэмиссионным накопителем, трубка с фотопроводящим накопителем, трубка с накопителем наведенной проводимости); *коммутаторы электронные* (переключатели); электроннолучевые лампы СВЧ; рентгеновские трубки; электронный микроскоп; ускорители электронов.

Электронографич. электровакуумные приборы предназначены для получения видимого (оптич.) изображения на экране (светящемся под действием электронов) или для регистрации получаемого изображения на светочувствит. слое. Для одноврем. наблюдения неск. электрич. процессов применяют многолучевые осциллографич. трубки, у к-рых в одной колбе при общем экране имеется неск. катодов и отклоняющих систем (обычно от 2 до 5). Область и возможности применения осциллографич. трубки в значит. мере зависят от ее экрана, к-рый в трубках для визуального наблюдения представляет собой тонкий слой люминесцирующих веществ [напр., сульфидов цинка и цинка — кадмия, силиката цинка (виллемит), вольфрамата кальция и кадмия с добавлением активаторов: марганца, меди, висмута, серебра, редкоземельных элементов и др.], нанесенных на стеклянное дно прибора. От состава и технологии люминофора зависит ряд свойств: время разгорания, время послесвечения; светоотдача, потенциал экрана, цвет, долговечность и др. Иногда применяют прозрачные люминесцирующие экраны. Время послесвечения имеет особое значение для спец. трубок, напр. радиолокационных; оно определяется как время, за к-рое яркость свечения спадает до 1% от начального значения после выключения луча. По времени послесвечения люминофоры разделяются на группы: очень короткое (менее 10 сек.); короткое (10 *мксек* — 0,01 сек.); среднее (0,01—0,1 сек.); длительное (0,1—16 сек.); очень длительное (более 16 сек.). Экраны с длительным и очень длительным послесвечением целесообразно применять в трубках для регистрации весьма кратковременных и неповторяющихся (однократных) процессов, чтобы наблюдать изображение, когда причина, вызвавшая его, уже исчезла. Для этой цели часто используют двухслойные экраны: на стекло наносят слой люминофора, сильно люминесцирующего под действием света от люминофора другого слоя, дающего интенсивное свечение под воздействием ударов электронов. Для большой скорости записи (порядка десяти тысяч *км/сек*), напр. при исследовании высоковольтных явлений (до неск. десятков *кв*), применяются высоковольтные осциллографы с внутривакуумной записью, работающие под насосом. Приемная телевизионная трубка (ПТТ) предназначена для наблюдения на ее люминесцирующем экране телевиз. изображения. Такая трубка, используемая для получения с ее экрана изображения на большой экран путем применения проекционнооптич. системы, наз. проекционной телевиз. трубкой. ПТТ является разновидностью осциллографич. трубок, в к-рых приняты меры для обеспечения яркого, четкого, высококачеств. изображения на большом количестве светящихся параллельных линий — «строк» (до 600 и более), прочерчиваемых фокусным пятном. Для уменьшения габаритных размеров колбы дно ее делают прямоугольным (соответственно форме растра), а конич. часть сокращают за счет увеличения угла отклонения электронного луча (до 110°). Запоминающая трубка предназначена для записи электронным лучом электрич. сигналов на поверхности диэлектрика, сохраняющего изображение (потенциальный рельеф) за нек-рый промежуток времени; относится к группе ЭЛП, преобразующих сигнал в сигнал. Запоминающие трубки применяются в осциллографии для записи и длительного воспроизведения нестационарных явлений, для сравнения сигналов при невозможности их одновременного получения, в радиолокационных индикаторах кругового обзора для быстрого четкого выделения движущихся целей, в счетно-решающих устройствах и др. В зависимости от используемых принципов записи эти трубки наз.: потенциалоскоп, потенциалоскоп с барьерной сеткой, потенциалоскоп с длительным сохранением времени воспроизведения записи, вычитающие трубки устройства графекон и др.

Передающие телевизионные трубки предназначены для преобразования оптич. изображения в ряд электрич. телевиз. сигналов. По физич. явлениям подразделяются на: трубки с фотоэмисс. накоплением [иконоскоп, в к-ром используется накопление зарядов на мозаичном экране (фотокатоде) при проецировании на него оптич. изображения, и последоват. увеличение потенциалов элементов экрана нормальным электронным лучом до уровня, близкого к потенциалу анода (верхнего равновесного потенциала); ортикон — трубка, в к-рой используется накопление зарядов на мозаичном экране (фотокатоде) под действием электронов при проецировании на него оптич. изображения и последоват. уменьшении потенциалов участков поверхности полупроводящего экрана нормальным электронным лучом до уровня, близкого к потенциалу термоэлектронного катода (нижнего равновесного потенциала)]; трубки с вторичноэмиссионным накоплением [ортикон с переносом изображения и суперортикон, в к-рых используется накопление зарядов на полупроводящем экране под действием электронов, испускаемых сплошным фотоэлектронным катодом при проецировании на него оптич. изображения и последоват. уменьшение нормальным электронным лучом потенциалов участков поверхности полупроводящего экрана до уровней, близких к потенциалу термоэлектронного катода; иконоскоп с переносом изображения (супериконоскоп, суперэмитрон), в к-ром накопление зарядов на мозаичном экране (фотокатоде) происходит под действием падающих на него электронов, испускаемых отдельными сплошным фотоэлектронным катодом, на к-рый проецируется оптич. изображение]; трубки с фотопроводящим накопителем (видикон, статикон, резистрон); ибикон — трубка, в к-рой для накопления заряда и усиления фототока до коммутации используется явление возбужденной (наведенной) проводимости в диэлектрике; моноскоп — видоизменный иконоскоп, в к-ром мозаичный фотокатод заменен экраном с нанесенным на него рис., подлежащим преобразованию в видеосигналы (предназначен для генерирования видеосигналов при испытании приемных телевиз. трубок).

Электроннолучевые коммутаторы (переключатели) служат для замыкания и размыкания цепей при помощи электронного луча. Эти приборы могут быть применены в многоканальной связи, ТИ, ТУ, счетно-решающих и других устройствах. Различают 3 группы переключателей: электроннолучевые, газоразрядные и *трохотроны*. Электроннолучевые коммутаторы имеют конструкцию, подобную осциллографическим трубкам, в к-рых вместо люминесцирующего экрана имеется система контактных электродов — ламелей (по ним перемещается электронный луч под воздействием отклоняющего устройства). Разновидности таких переключателей: переключатель со вторичной эмиссией (контактных электродов) и *кодирующая электроннолучевая трубка*.

Электроннолучевые приборы СВЧ имеют различные конструкции и назначения: *индикаторная лампа* — комбинированная электронная лампа, в к-рой одна из систем электродов содержит люминесцирующий экран (применяется в качестве указателя настройки радиоаппаратуры, нулевого прибора с измерит. аппаратурой и др.); *электроннооптический преобразователь*, предназначенный для преобразования при помощи пучка электронных лучей изображения (получаемого, напр., под действием инфракрасного света) на поверхности фотоэлектронного катода прибора в видимые изображения на люминесцирующем экране; *лампа бегущей волны* — электронная лампа с концентрированным в форме луча или потока лучей электронным потоком, применяемая для генерирования или усиления колебаний СВЧ, использующая передачу энергии электронному полю бегущей электромагнитной волны, распространяющейся вдоль замедляющей системы в направлении, совпадающем с направлением движения электрона; *лампа обратной волны* — лампа с концентрированным в форме луча или пучка лучей электронным потоком, применяемым для генерирования или усиления колебаний СВЧ, использующая взаимодействие волн пространств. заряда двух или большего числа параллельных потоков электронов, имеющих различные скорости; *клистрон* — лампа с концентрированным в форме пучка лучей электронным потоком, в к-рой вследствие предварит. модуляции скоростей электронов происходит преобразование пост. потока электронов в переменный по плотности, в пространстве, свободном от ВЧ поля; лучевая лампа с поперечным управлением — электроннолучевая лампа с управлением поперечным полем; управление осуществляется смещением узкого электронного пучка полем отклоняющих пластин, расположенных между катодом и анодом по обе стороны от пучка; при этом ток пучка остается постоянным, но ток анода изменяется, а часть электронов пучка при его отклонении задерживается перехватывающим электродом; такие лампы обеспечивают более выгодное отношение сигнала к шуму, более высокое входное сопротивление и меньшие емкости; принят ряд вариантов конструкций такого типа лампы в соответствии с их назначением, напр.: смесительная лампа с поперечным управлением, лампа с поперечным управлением для усиления мощности и др. (см. также *Лучевой тетрод*).

Электронный телескоп позволяет при помощи устройств *электронной оптики* получать

на его экране (фотопластине) усиленное изображение светящихся внешних объектов (напр., небесных светил), изображение к-рых спроецировано на полупрозрачный фотокатод этого прибора.

Лит.: Тягунов Г. А., Электровакуумные и полупроводниковые приборы, М.—Л., 1962; Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960; Миллер В. А., Куракин Л. А., Приемные электронно-лучевые трубки, М.—Л., 1964; Гуревич С. Б., Физические процессы в передающих телевизионных трубках, М., 1958; Глазер В., Основы электронной оптики, пер. с нем., М., 1957; Каганов И. Л., Электронные и ионные преобразователи, ч. 1, М.—Л., 1950; Шевчик В. Н., Основы электроники сверхвысоких частот, М., 1959; Марголин И. А., Румянцев Н. П., Основы инфракрасной техники, 2 изд., М., 1957; Пирс Дж. Р., Теория и расчет электронных пучков, пер. с англ., М., 1956.

А. Г. Александров.

ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ ОСЦИЛЛОГРАФ (electron-beam oscillograph; oscillographe à faisceau électronique; Elektronenstrahloszillograf) — см. *Осциллограф*.

ЭЛЕКТРОННООПТИЧЕСКИЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ (image converter tube, image translator; convertisseur électronico-optique; elektronenoptischer Wandler) — фотоэлектрич. устройство для преобразования светового оптич. изображения в электронное, к-рое затем преобразуется в видимое оптич. изображение. Посредством Э. п. можно видеть в темноте при освещении объектов инфракрасными лучами.

Простейший Э. п.: стеклянный стакан с двойными стенками и двойным дном (рис. 1). На внутр. стороне наружного дна нанесен полупрозрачный фотокатод, а на внутр. стороне другого дна—экран с люминофором на полупрозрачном металлич. слое. Проецируемое на фотокатод инфракрасное изображение вызывает эмиссию электронов, интенсивность к-рой с отдельных участков пропорциональна их освещенности. На экран подается высокое положит. напряжение относительно фотокатода, вследствие чего электроны, эмиттированные катодом, бомбардируют экран и вызывают его свечение. Т. о. изображение переносится с катода на экран и одновременно спектр. состав изображения из инфракрасного переходит в видимый, причем цвет определяется люминофором. Яркость изображения в Э. п. повышается применением вторичной электронной эмиссии или же оптически последовательно соединяются два (или несколько) преобразователя, электрически включенные параллельно (рис. 2).

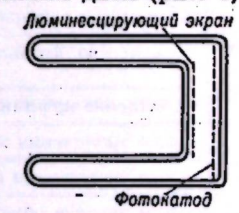


Рис. 1. Схема простейшего электронооптического преобразователя.

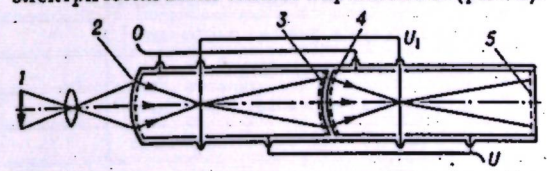


Рис. 2. Схема двухкаскадного электронооптического преобразователя с электростатич. фокусировкой потока: *1* — объект; *2* — первый фотокатод; *3* — первый экран; *4* — второй фотокатод; *5* — второй экран.

Э. п. применяют в различных областях науки и техники при оптич. и микроскопич. исследованиях в инфракрасных лучах, для

увеличения яркости свечения рентгеновских экранов, для изучения инфракрасного излучения ночного неба и др.

Лит.: Мулярод М. Я., Электронно-лучевые приборы, М.—Л., 1954; Кельман В. М., Явор С. Я., Электронная оптика, 2 изд., М.— Л., 1963.

ЭЛЕКТРОННЫЕ СВЧ ПРИБОРЫ [microwave devices; appareils électroniques à T. H. F. (très haute fréquence); elektronische UHF-Geräte] — см. *Лампа бегущей волны*, *Лампа обратной волны*, *Лампа электронноволновая*, *Лампа маячковая*, *Лампа разборная электронная*, *Магнетрон*, *Магнетронного типа приборы*, *Резнатрон*.

ЭЛЕКТРОННЫЙ МИКРОСКОП (electron microscope; microscope électronique; Elektronenmikroskop) — прибор для получения изображений микрообъектов с очень большим увеличением. В отличие от светового микроскопа в Э. м. вместо световых лучей используются электронные лучи — пучки быстролетящих электронов в вакууме под действием ускоряющего электрич. напряжения в неск. десятков, а иногда и сотен тысяч *в*. Для фокусировки электронных лучей и получения с их помощью увеличенных (или уменьшенных) изображений служат электронные линзы (см. *Электронная оптика*). Изображение предмета, несомое электронами, делается видимым глазу либо на экране, покрытом слоем вещества, светящегося под действием электронов (люминофора), либо на фотопластинке или фотопленке. В целом Э. м. — сложный, высоковольтный, высоковакуумный электронно-оптич. прибор. Он требует квалифицированного обслуживания и наличия помещения, удовлетворяющего определенным тех. требованиям: отсутствие тряски, сильных посторонних магнитных полей и др. Основное преимущество Э. м. перед световым: лучшее разрешение (разрешаемое расстояние — миним. линейное расстояние между точками или деталями предмета, при к-ром они после увеличения видны глазу как раздельные) и большее полезное увеличение (полезным увеличением Э. м. наз. увеличение, к-рое доводит величину разрешаемого расстояния до значения 0,2—0,3 *мм*). Разрешаемое расстояние светового микроскопа в лучшем случае (при использовании фотографич. метода, с использованием ультрафиолетовых лучей) 1000 Å и соответственно полезное увеличение — до 2000 крат. Т. о., кристаллич. решетки, атомы и даже молекулы остаются далеко за пределами видимости световых микроскопов. В лучших совр. Э. м. практически достигнутое разрешение равно 2,5—5Å, с полезным увеличением в 400 000 крат.

По роду используемых линз Э. м. делятся на электростатические и магнитные. Наибольшее применение и распространение имеют магнитные Э. м., о к-рых только и будет идти речь. Магнитные Э. м., в свою очередь, делятся на электромагнитные и магнитостатические. В первых из них магнитные поля создаются с помощью электрич. токов, питающих обмотки линз. Обмотки находятся внутри стальных кожухов (панцирей), имеющих зазоры для выхода магнитного поля.

По характеру производимых исследований Э. м. можно разделить на две основные группы: 1) просвечивающие — для исследования объектов, прозрачных для электронов, и 2) для исследования массивных, непрозрачных для электронов объектов.

Просвечивающие электронные микроскопы можно условно разделить на 3 класса приборов, отличающихся друг от друга разрешением и конструкциями.

Основные параметры советских и зарубежных электронных микроскопов I класса

Основные параметры		Тип прибора	УЭМВ-100	УЭМВ-100В	ЭМВ-150	JEM-6C	JEM-6B
		Фирма, страна	СССР	СССР	СССР	JEOL Япония	JEOL Япония
		Год выпуска	1961—1964	1964	1964	1962	1963
I		Разрешающая способность (Å)	10	8	5	8	7
II		Диапазон увеличения (крат)	300—200 000	300—200 000	100—250 000	600—200 000	600—200 000
III		Ускоряющее напряжение (*кв*)	100	100	100	100	100
IV		Количество фотопластин и размер	12 6×9	18 6×9	20 36-мм 9×12 пленки	24 6×9	24 6×9
V		Оснащение приставками:					
	1	для увеличения контраста	—	—	—	—	—
	2	для растяжения объекта	—	×	—	—	×
	3	для нагрева объекта	—	×	×	—	×
	4	для охлаждения объекта	—	—	—	—	×
	5	для защиты объекта от загрязнения	—	×	×	×	×
	6	с гониометрической головкой	—	—	—	—	×
	7	с газовой микрокамерой	—	×	×	—	—
	8	для снятия заряда с образца камеры объекта и дифракционной камеры	—	—	—	—	×
	9	с вакуумстатом	—	×	×	—	—
	10	с фотоэкспонометром	—	—	×	×	×
	11	для стереосъемки	×	×	×	×	×
	12	для дифракционных исследований	×	×	×	—	×
	13	для охлаждения в режиме дифракции	—	—	—	—	—
	14	для нагрева в режиме дифракции	—	—	—	—	—
	15	для режима отражения	—	—	—	—	—
	16	для нагрева в режиме отражения	—	×	×	—	×
	17	для рентгеновского микроанализа	—	—	—	—	—
	18	для исследования магнитных объектов	—	—	—	—	—
	19	с телевизионной приставкой	—	—	—	—	—
	20	с кинокамерой	—	×	—	×	×
	21	с теневой рентгеновской камерой	—	—	—	—	—
	22	оптический микроскоп	×	×	×	×	×

Основные параметры		Тип прибора	JEM-7	JEM-150	HV-11A	HV-11B	EM-6B	Elmiskop IA	BS-413
		Фирма, страна	JEOL Япония	JEOL Япония	Hitachi Япония	Hitachi Япония	AEI Англия	Siemens ФРГ	Тесла Чехословакия
		Год выпуска	1964	1963	1963	1964	1964	1964	1963
I		Разрешающая способность (Å)	4,5	10	7	4,5	5	5—7	8—10
II		Диапазон увеличения (крат)	600—250 000	600—200 000	400—250 000	400—250 000	1000—250 000	200—160 000	5500—180 000
III		Ускоряющее напряжение (*кв*)	100	150	100	100	80	100	100
IV		Количество фотопластин и размер	24 6×9	24 6×9	18 6×9	18 6×9	24 6×9	12 6×9	12 6×9
V		Оснащение приставками:							интерференц. приставка
	1	для увеличения контраста	—	—	—	×	—	—	—
	2	для растяжения объекта	×	×	×	×	—	×	—
	3	для нагрева объекта	×	×	×	×	—	×	—
	4	для охлаждения объекта	×	×	×	×	—	×	—
	5	для защиты объекта от загрязнения	×	—	×	×	×	×	—
	6	с гониометрической головкой	×	×	×	×	—	×	—
	7	с газовой микрокамерой	—	—	—	—	—	—	—
	8	для снятия заряда с образца камеры объекта и дифракционной камеры	×	—	×	×	—	—	—
	9	с вакуумстатом	—	—	—	—	—	—	—
	10	с фотоэкспонометром	×	×	×	×	×	—	—
	11	для стереосъемки	×	×	×	×	—	×	×
	12	для дифракционных исследований	×	×	×	×	—	×	×
	13	для охлаждения в режиме дифракции	—	—	×	×	—	—	—
	14	для нагрева в режиме дифракции	—	—	×	×	—	—	—
	15	для режима отражения	—	—	×	×	—	×	—
	16	для нагрева в режиме отражения	×	—	×	×	—	—	—
	17	для рентгеновского микроанализа	—	—	—	—	—	×	—
	18	для исследования магнитных объектов	—	—	—	×	—	—	—
	19	с телевизионной приставкой	—	—	×	×	—	—	—
	20	с кинокамерой	×	×	—	—	×	—	—
	21	с теневой рентгеновской камерой	×	—	×	×	—	—	—
	22	оптический микроскоп	×	×	×	×	×	×	×

Э. м. 1-го класса имеют разрешение лучше 10 Å. Ускоряющее напряжение равно 100 *кв*, с тенденцией увеличения его до 200 *кв*.

Э. м. 2-го класса имеют разрешение порядка 15 Å. Ускоряющее напряжение равно 60—80 *кв*, с тенденцией повышения до 100 *кв*.

Э. м. 3-го класса, наиболее простые и дешевые, имеют разрешение в пределах от 30 до 100 Å. Ускоряющее напряжение равно 30—50 *кв*.

Кроме пром. образцов просвечивающих Э. м., создаются единичные образцы с повышенным (1—1,5 млн. *в*) и с пониженным (5—15 *кв*) ускоряющими напряжениями. Высоковольтные Э. м. дают возможность исследовать более толстые образцы металлов (до 10 *мк*). Низковольтные Э. м. обеспечивают лучшую контрастность при исследовании мало контрастных объектов (напр., биологических).

Принцип работы Э. м. рассмотрим на примере прибора 1-го класса. Источником электронов служит электронная пушка, состоящая из трех электродов: катода, эмиттирующего электроны (шпилькообразная вольфрамовая проволока, накаливаемая током), цилиндра Венельта, осуществляющего первую фокусировку электронов, и анода с отверстием. В просвечивающем Э. м. основными параметрами пучка электронов служат плотность тока, угловое раскрытие (апертура) и сечение на объекте, к-рые изменяются в зависимости от задачи при помощи т. н. конденсорной линзы (конденсора). Большое увеличение Э. м. 1-го класса требует большой плотности тока на объекте. Для предотвращения нагрева объекта, при этом, уменьшают облучаемую область. Для этого используется второй конденсор (длиннофокусный), образующий с первым (короткофокусным) двойной конденсор, позволяющий получить на объекте пучок диаметром в неск. *мк*. Совокупность электронной пушки и конденсора (двойного или простого) наз. осветит. системой Э. м. Для улавливания пучков очень малых апертурных углов осуществляется ее регулирование, относительно оптич. оси объектива, механич. способами или с помощью отклоняющих электромагнитных полей. Большое полезное увеличение, к-рым характеризуется совр. Э. м. 1-го класса, получают при помощи трех (и более) электронных линз, создающих электроннооптич. изображение: объективная линза (объектив), промежуточная линза, проекционная линза (проектив). Фокусное расстояние промежуточной линзы может изменяться в широких пределах. Проектив в ряде случаев снабжается сменными полюсными наконечниками различной оптич. силы. При этом увеличение Э. м. может изменяться от неск. сотен до неск. сотен тысяч раз. Особое внимание уделяется снижению дисторсии проектива. Для получения изображений с увеличением в неск. тысяч раз с достаточной яркостью требуется, чтобы плотность тока на объекте достигала неск. *а* на *см*^{2}. Сильное взаимодействие электронов с атомами и молекулами паров и газов делает необходимым, во избежание рассеяния электронов, поддержание в колонне микроскопа вакуума 10^{-3}—10^{-4} *мм рт. ст.*

Э. м. может быть использован не только как увеличит. прибор, но и как электронограф для исследования структуры вещества методом электронной дифракции. Возможно проведение в нем т. н. микродифракц. исследований.

Электронные микроскопы для прямого исследования массивных объектов делятся на эмиссионные, отражательные, растровые, теневые (электронные и рентгеновские) и зеркальные.

Эмиссионные Э. м. дают изображение в электронах, испускаемых самим исследуемым объектом и ускоряемых затем сильным электрич. полем. Разрешение такого типа Э. м. 200—1500 Å. Области применения эмиссионных Э. м.: катодная электроника, физика металлов и ПП (визуализация фазовых переходов в металлах, *p—n*-переходов в ПП и т. д.).

В отражательном Э. м. облучение поверхности образца осуществляется быстрым пучком электронов, формируемым осветит. системой. Разрешение: 200—400 Å.

В растровых Э. м. исследуемый образец сканируется по точкам узким электронным зондом, обегающим за период развертки исследуемую поверхность. Изображения, получаемые на экранах неск. электронолучевых трубок, несут на себе информацию о самых разнообразных свойствах исследуемой поверхности: распределении по ней того или иного элемента (с помощью характеристич. рентгеновских лучей и электронов, вошедших в объект), о наличии в исследуемой зоне *p—n*-перехода (вторичные электроны) или радиационного излучения (световое излучение), о картине микрорельефа (вторичные и рассеянные электроны). Наряду с исследованием металлов и ПП в растровых Э. м. могут исследоваться и диэлектрики, поверхность к-рых для этих целей следует металлизировать. Разрешение растровых Э. м. при получении изображений в рентгеновских лучах (при исследовании массивных объектов) 1—0,5 *мк*, в электронных лучах — порядка 100—200 Å. Растровые Э. м. применяются в металлургии и металлофизике, ПП технике и химии (и в том числе химии волокон). Сочетание растрового Э. м. с электронно-ионнолучевыми технологическими установками дает возможность вести в вакууме наблюдение за процессом изготовления микросхем и др.

В теневых рентгеновских Э. м. в непосредственной близости от исследуемого образца осветит. системой создается узкий электронный зонд. Если электронный зонд падает на металлич. мишень, то в этом месте возникают рентгеновские лучи. Располагая исследуемый объект на пути лучей, либо после мишени, если она тонкая, либо сбоку, если — массивная и стоит под углом к падающему пучку электронов, на экране или фотопластинке, также расположенных на сравнительно большом расстоянии, получают увеличенное изображение участка образца, охваченного конусом расходящихся рентгеновских лучей (теневой рентгеновский микроскоп). Разрешение в теневых электронных и рентгеновских микроскопах составляет 1000 Å.

В зеркальном Э. м. электронным пучком, созданном осветит. системой, освещается поверхность металла или ПП, находящегося под отрицат. потенциалом такой величины, чтобы падающие на поверхность электроны поворачивались назад непосредственно у ее

мой поверхности, как бы зеркально от нее отражаясь. Разрешение зеркального Э. м. не превышает 1000 Å. В зеркальном Э. м. практически отсутствует воздействие падающего пучка электронов на объект; он может быть использован при исследовании поверхностей, металлургич. шлифов и ПП.

Помимо разнообразных применений Э. м. в ряде исследований, наметилась серьезная тенденция к использованию их в качестве контрольно-технологич. приборов непосредственно в пром-сти. Просвечивающие Э. м. значительно помогают в улучшении технологич. операций в ПП пром-сти, в подборе компонентов эмалевых красок для автомобилей, в производстве саж для резиновой пром-сти, в улучшении технологии сварки, усовершенствовании качества смазок и процесса очистки масел на нефтеперегонных заводах, для установления технологич. норм при обработке поверхности валков для прокатки тонколистной стали, в снижении брака при выпуске фарфоровых электротехнич. изделий и др.

Ю. М. Кушнир.

ЭЛЕКТРОННЫЙ ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ (electronic switch; commutateur éléctronique; elektronischer Schalter) — см. *Коммутатор электронный.*

ЭЛЕКТРОННЫЙ ПРИБОР [electronic device (instrument); appareil électronique; elektronisches Gerät] — физич. прибор, действие к-рого основано на изменении концентрации и движении электронов в той или иной рабочей среде: вакууме (в технич. смысле), газе, жидкости, плазме, твердом теле. Обычно в понятие Э. п. включают также приборы, основанные на совместном движении электронов и ионов. К Э. п. не следует относить приборы, у к-рых движение электронов не сопровождается изменением их концентрации в рабочей среде (лампы накаливания, термисторы, магнитные усилители, вариконды и т. п.), поскольку в противном случае понятие Э. п. лишается специфики по сравнению с более общим понятием электрического прибора.

Изменение концентрации электронов в рабочей среде достигается неск. путями: либо благодаря дополнит. энергии, позволяющей электронам преодолеть потенциальный барьер на границе со смежной средой и перейти в рабочую среду, либо благодаря изменению высоты потенциального барьера с помощью внешнего напряжения, либо благодаря ионизации среды с помощью света, тепла, корпускулярных потоков и др. факторов. В первых двух случаях имеют место разные виды эмиссии (*термоэлектронная эмиссия*, фотоэлектронная эмиссия, *вторичная эмиссия* и др.), а также *инжекция неосновных носителей заряда* и *экстракция носителей заряда*.

Классификация Э. п. может быть различной: по типу рабочей среды (вакуумные, газонаполненные, полупроводниковые, диэлектрические и т. п.), по виду эмиссии (термоэлектронные, фотоэлектронные, с вторичной эмиссией и т. п.), по виду газового разряда (приборы темного, тлеющего, дугового, искрового, коронного разряда), по способу управления электронным потоком (с электрическим, магнитным, электромагнитным управлением), по характеру движения электронов в рабочей среде (диффузионные, дрейфовые), по назначению (выпрямительные, усилительные, генераторные, индикаторные, стабилизаторные, коммутационные и т. п.), по числу электродов, по мощности, по диапазону частот и т. д. Общепринятой классификации Э. п. до сих пор не создано.

К числу наиболее распространенных Э. п. относятся: электронная лампа (*диод*, *триод*, *пентод* и др.), *диод полупроводниковый* (выпрямительный, опорный, детекторный, туннельный, параметрический и др.), *транзистор* (в т. ч. униполярный, лавинный и др.), *электроннолучевая трубка* (осциллографическая, телевизионная, коммутационная, потенциалоскоп, электроннооптический преобразователь и др.), прибор СВЧ (*магнетрон*, *клистрон*, *лампа бегущей волны* и др.), газоразрядный прибор (газотрон, тиратрон, стабилитрон, игнитрон, ртутный выпрямитель, декатрон и др.), фотоэлектрич. прибор (вакуумный и газонаполненный фотоэлемент, фотоэлектронный умножитель и др.), индикатор радиоактивного излучения (ионизац. камера, ионизац. счетчик, люминесцентный счетчик и др.), а также *рентгеновская трубка*, *механотрон*, *термопара*, ПП атомная батарея и др. Электрохимич. источники энергии (гальванич. батареи и аккумуляторы) не относят к Э. п., т. к. в основе их действия лежат не только физич., но и химические процессы.

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960; Тягунов Г. А., Электровакуумные и полупроводниковые приборы, М.—Л., 1962; Федотов Я. А., Основы физики полупроводниковых приборов, М., 1963; Фюнфер Э., Нейерт Г., Счетчики излучений, пер. с нем., М., 1961.

И. П. Степаненко.

ЭЛЕКТРОННЫЙ УМНОЖИТЕЛЬ (electron multiplier; multiplicateur éléctronique; elektronischer Vervielfacher) — электронный электровакуумный прибор, в к-ром поток первичных электронов усиливается посредством вторичной электронной эмиссии. Источником первичных электронов в Э. у. служит катод (напр., термоэлектронный, фотоэлектронный, автоэлектронный). В нек-рых конструкциях источник электронов может быть вне рабочего пространства. Когда применяется наиболее распространенный фотоэлектронный катод, помещаемый внутри Э. у., последний наз. фотоэлектронным умножителем (ФЭУ). Принцип действия Э. у. поясняется на рис. 1; в высоком вакууме расположены

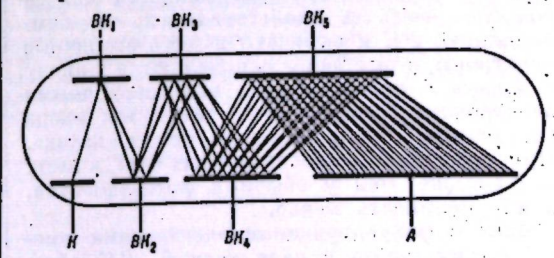


Рис. 1. Схема электронного умножителя.

источник первичных электронов $К$ и анод $А$ (коллектор); между ними последовательно размещены вторично-электронные катоды (эмиттеры, диноды) $ВК_1, ВК_2, \ldots, ВК_6$ с последовательно возрастающим потенциалом от катода к аноду. Первичные электроны из $К$ под действием поля (полей) направляются к $ВК_1$, выбивая из него в значительно большем количестве вторичные электроны, к-рые, в свою очередь, направляются к $ВК_2$ и выбивают новый поток электронов в еще большем

количестве. Этот процесс повторяют на всех последующих вторичных катодах. С последнего $ВК$ электроны направляются к улавливающему их коллектору $А$. Теоретически ток коллектора (выходной ток) $I_а$ определяется выражением: $I_а = I_0\sigma^n$, где I_0 — ток первичных электронов, σ — коэфф. вторичной эмиссии для вторичных катодов, n — число каскадов умножения. Коэфф. усиления Э. у. определяется выражением: $k = \frac{I_а}{I_0} = \sigma^n$. Напр., при $\sigma = 6$ и $n = 10$ теоретически $k = 6^{10} \simeq 10^7$. Однако на практике из-за трудности создания строгой стабильности $ВК$ и фокусировки электронов, обеспечения низкого уровня шумов и малых темновых токов удается получать k=неск. млн. Для подачи на каждый последующий $ВК$ более высокого потенциала обычно используется делитель напряжения в виде цепочки последовательно включенных сопротивлений.

Э. у., особенно ФЭУ, широко используются в измерит. (и в частности в фотоизмерит.) технике, в автоматике, в телевидении, в звуковом кино, в исследованиях космич. излучений и в ядерной физике, в астрономии (напр., при измерении слабых световых потоков, идущих от звезд), для измерения весьма кратковрем. световых излучений (до 10^{-10} сек.) и в др. областях науки и техники.

ФЭУ классифицируются: по числу каскадов (однокаскадные, многокаскадные) и по конструкции (с фокусирующими электродами, с сетками, сквозного действия, с фокусировкой магнитным полем).

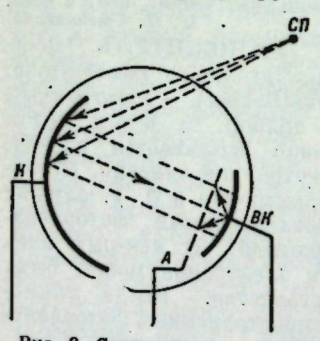


Рис. 2. Схема однокаскадного фотоэлектронного умножителя.

Однокаскадный ФЭУ (рис. 2) состоит из фотоэлектронного катода $К$, $ВК$ и сетчатого анода $А$, заключенных в стеклянном баллоне; $ВК$ обычно наносятся на внутр. поверхность баллона. Под действием светового потока $СП$ испускаемые $К$ электроны направляются к $А$, и большая часть их пролетает сквозь $А$, бомбардируют $ВК$ и выбивают из него вторичные электроны, к-рые далее направляются к аноду и вместе с попавшими на него первичными электронами создают в его цепи ток анода (коллектора) больший, чем ток с катода. Чувствительность однокаскадных ФЭУ в неск. раз больше, чем у обычных фотоэлементов, а инерционность меньше.

ФЭУ с фокусирующими электродами имеют форму (часто в виде ковшей) $ВК$, обеспечивающую возможность большего перелета вторичных электронов с катода на катод (рис. 3). В таких Э. у. перед катодами обычно помещается сетка, уменьшающая вблизи их неоднородность электрич. поля. Анод (коллектор) часто выполняется в виде рамки с натянутыми на нее проволочками и помещается вблизи последнего $ВК$. В процессе умножения в ФЭУ обычно происходит сжатие пучка электронов и лишь на последних каскадах оно может компенсироваться расталкивающим действием электрич. заряда. Для уменьшения поперечного рассеяния применяются боковые стенки. Вся система электродов помещается в стеклянный баллон с высо-

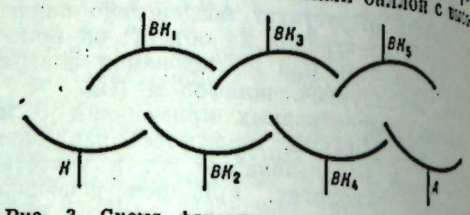


Рис. 3. Схема фотоэлектронного умножителя с фокусирующими электродами.

ким вакуумом. Иногда конструкция $ВК$ осуществляется в виде тел вращения, расположенных вдоль оси ФЭУ. В малогабаритных ФЭУ цилиндрич., ковшеобразные и плоские $ВК$ располагаются по двум концентрич. окружностям. Другая разновидность ФЭУ имеет $ВК$ коробчатой формы.

ФЭУ с сетками отличаются наличием общего для всех $ВК$ электрода — сетки $С$, предназначенной для направления электронных потоков с одного катода на другой (рис. 4). $ВК$ имеют

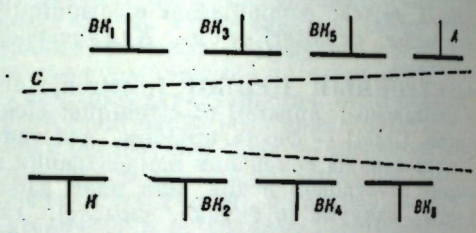


Рис. 4. Схема фотоэлектронного умножителя с сеткой.

форму полуцилиндров, расположенных один против другого так, чтобы край одного приходился против середины другого, причем высота оси цилиндров возрастает с номером электрода. Сетка имеет конич. форму и соединена с анодом. Она расположена по оси вдоль ФЭУ, внутри системы $ВК$. Такая форма сетки обеспечивает малую величину коэфф. рассеяния электронных потоков. Фотоэлектронный катод обычно выполняется полупрозрачным, нанесенным на внутр. поверхность полусферич. колбы. $ВК$ системы штампуются из сплавов, напр. Al — Mg, и активизируются в процессе вакуумно-термич. обработки. Достоинство этой конструкции: отсутствие внутри рабочего объема к.-л. деталей из диэлектрика, нарушающих стабильность работы из-за скопления электрич. зарядов; кроме того, сетка, повышая градиент потенциала у поверхности $ВК$, увеличивает их эффективность и снижает разброс начальных скоростей вторичных электронов и времени пролета электронов.

ФЭУ сквозного действия имеют такую форму и расположение $ВК$, при к-рых первичные электроны бомбардируют их с одной стороны, а вторичные — выходят с противоположной. Обычно $ВК$ (рис. 5) выполнены в виде жалюзи из металлич. пластин или в виде густых сеток, покрытых эмиттирующим слоем и расположенных непосредственно один за другим. Электроны, испускаемые полупрозрачным фотокатодом $К$, под действием электрич. поля попадают на $ВК$ первого каскада, выбивают вторичные электроны, к-рые далее направляются к $ВК$ следующего каскада, и т. д. С последнего каскада электроны улавливаются анодом. Недостаток таких ФЭУ: часть вторичных электронов, пройдя между пластинами $ВК$, не попадает на них, что приводит к снижению усиления. В нек-рых конструкциях ФЭУ между $ВК$ помещают сетки для создания электрич. поля.

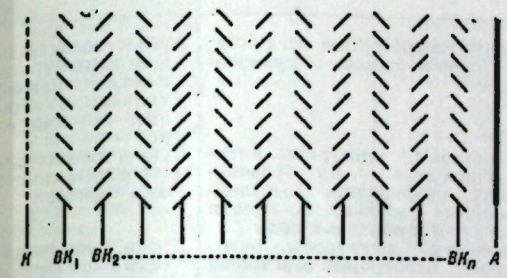


Рис. 5. Схема фотоэлектронного умножителя сквозного действия.

ФЭУ с фокусировкой магнитным полем имеют вид стеклянной трубки, по внутр. поверхности к-рой нанесены в виде наклонных или прямых колец $ВК$, от к-рых наружу сквозь стенку сделаны выводы для подачи напряжений, возрастающих от предыдущего $ВК$ к последующему. Трубку помещают в фокусирующее магнитное поле (рис. 6; поле перпендикулярно к плоскости рис.). Электроны в ней перемещаются под воздействием электрич. и магнитного полей. Недостаток этой конструкции: необходимость создания магнитного поля, большой темновой ток, малый выходной ток, наличие боковых выводов.

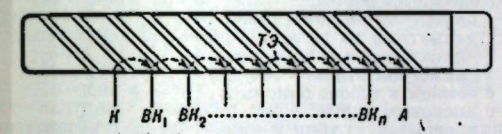


Рис. 6. Схема фотоэлектронного умножителя с фокусировкой магнитным полем: $ТЭ$ — траектория электронов.

Основные параметры ФЭУ: чувствительность фотоэлектронных катодов, коэфф. усиления по току, число катодов (ступеней) умножения, интегральная чувствительность (произведение чувствительности катода на коэфф. усиления), макс. выходной ток (ток анода или коллектора), темновой ток при включении напряжения питания и полностью затемненного катода (вследствие термоэлектронной эмиссии, ионной и оптич. обратной связи, несовершенства изоляции), анодное напряжение, долговечность, область спектр. чувствительности, длина волны, соответствующая максимуму спектр. чувствительности.

Лит.: Чечик Н. О., Файнштейн С. М., Лифшиц Т. М., Электронные умножители, 2 изд., М., 1957; Тягунов Г. А., Электровакуумные и полупроводниковые приборы, М.—Л., 1962; Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960; Гартман В., Бернгард Ф., Фотоэлектронные умножители, пер. с нем., М.—Л., 1961; Берковский А. Г. [и др.], «ИАН СССР. Сер. физ.», 1963, т. 27, № 7; 1958, т. 22, № 8.

А. Г. Александров.

ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ СИСТЕМА ОБОЗНАЧЕНИЙ (designation system of electronic devices; système de symboles des appareils électroniques; Bezeichnungen und Symbole elektronischer Geräte) — условные обозначения электронных приборов, принятые в СССР (ГОСТ 5461—59; ГОСТ 10862—64). Каждый прибор имеет обозначение, состоящее из четырех элементов.

Электровакуумные приборы

Первый элемент обозначения

Группа приборов	Условное обозначение
Лампы генераторные длинно- и коротковолновые (с предельной частотой до 25 *Мгц*)	ГК
Лампы генераторные ультракоротковолновые (с предельной частотой от 25 до 600 *Мгц*)	ГУ
Лампы генераторные сантиметровые (с предельной частотой свыше 600 *Мгц*)	ГС
Лампы модуляторные	ГМ
Магнетроны	М
Клистроны	К
Лампы бегущей волны	УВ
Лампы обратной волны	ОВ
Кенотроны	В
Стабилитроны (стабилизаторы напряжения)	СГ
Бареттеры (стабилизаторы тока)	СТ
Тиратроны	Т
Газотроны	Г
Игнитроны	И
Экситроны	Э
Разрядники всех типов	Р
Декатроны	О
Газоразрядные коммутаторы	А
Генераторы шума	ГШ
Фотоэлементы	Ф
Фотоэлектронные умножители	ФЭУ
Электроннооптич. преобразователи	Число, указывающее (округленно) диаметр баллона в *см*
Счетчики элементарных частиц (счетчики излучения)	СИ
Лампы электрометрические	ЭМ
Лампы приемно-усилит. и кенотроны, относящиеся к этой категории ламп	Число, указывающее (округленно) напряжение накала в *в*
Электроннолучевые приборы (кроме электронных коммутаторов, функцион. трубок, передающих телевиз. приборов и запоминающих электроннолучевых трубок без видимого изображения)	Число, указывающее (округленно) величину диаметра или диагонали экрана в *см*
Запоминающие электроннолучевые трубки без видимого изображения, передающие телевиз. приборы, электронные коммутаторы и функцион. трубки	Л

Примечания. Для газотронов и тиратронов к первому элементу обозначения добавляют: в случае газового наполнения букву «Г», в случае наполнения парами ртути букву «Р»; для тиратронов тлеющего разряда (с холодным катодом) к первому элементу обозначения добавляют букву «Х»; для всех типов импульсных приборов к первому элементу обозначения добавляют букву «И».

Второй элемент обозначения

Группа приборов	Условное обозначение
Диоды	Д
Двойные диоды	Х
Триоды	С
Двойные триоды	Н
Тетроды	Э
Выходные пентоды и лучевые тетроды	П
Пентоды и лучевые тетроды с удлиненной хар-кой	К
Пентоды и лучевые тетроды с короткой хар-кой	Ж
Частотно-преобразоват. лампы с двумя управляющими сетками	А
Пентоды со вторичной эмиссией	В
Диод-триоды	Г
Диод-пентоды	Б

Продолжение

Группа приборов	Условное обозначение
Триод-пентоды	Ф
Триод-гексоды, триод-гептоды и триод-октоды	И
Двойные тетроды и пентоды	Р
Лучевые лампы	Л
Индикаторы настройки	Е
Клистроны:	
генераторные	Г
усилительные	У
умножительные	М
Газотроны, игнитроны, экситроны, тиратроны, кенотроны, генераторы шума, стабилитроны, бареттеры, счетчики элементарных частиц (счетчики излучений), газоразрядные коммутаторы	Число, указывающее порядковый номер типа прибора
Осциллографич. трубки и кинескопы с электростатич. отклонением луча	ЛО
Осциллографич. трубки с электромагнитным отклонением луча	ЛМ
Кинескопы с электромагнитным отклонением луча	ЛК
Запоминающие электроннолучевые трубки с видимым изображением	ЛН
Знакопечатающие трубки	ЛС
Знакопечатающие запоминающие трубки	ЛНС
Запоминающие электроннолучевые трубки без видимого изображения	Н
Передающие телевиз. трубки	И
Функцион. трубки	Ф
Электронные коммутаторы	П
Электроннооптич. преобразователи	ЭП (ЭОП)
Разрядники с давлением выше атмосферного (тригатроны)	Т
Резонансные разрядники	Р
Декатроны	Г
Кенотроны, относящиеся к категории приемно-усилит. ламп	Ц

Примечание. Генераторные и модуляторные лампы, нерезонансные разрядники, магнетроны, отражат. клистроны, лампы бегущей и обратной волн, фотоэлементы, фотоэлектронные умножители и электрометрич. лампы второго элемента обозначения не имеют.

Третий элемент обозначения

Группа приборов	Условное обозначение
Лампы генераторные всех диапазонов, лампы модуляторные, разрядники всех типов, декатроны, электроннолучевые приборы всех типов, приемно-усилит. лампы и кенотроны, относящиеся к этой категории ламп, лампы электрометрические, бегущей и обратной волн, фотоэлементы, фотоэлектронные умножители, клистроны, магнетроны	Число, указывающее порядковый номер типа прибора
Электроннооптич. преобразователи	Трехзначный номер типа; первая цифра указывает число камер
Тиратроны маломощные и с холодным катодом в конструктивном оформлении приемно-усилит. ламп, стабилитроны, бареттеры	Буква, указывающая на принадлежность прибора к определ. серии по внешнему оформлению
Счетчики α-излучения	А
Счетчики β-излучения	Б
Счетчики жесткого β-излучения	БГ
Счетчики γ-излучения	Г
Счетчики нейтронные	Н
Счетчики рентгеновские	Р
Счетчик фотонов	Ф

Примечание. Газотроны, тиратроны (за исключением маломощных тиратронов в конструктивном оформлении приемно-усилит. ламп), игнитроны, экситроны, шумовые диоды, кенотроны, газоразрядные коммутаторы третьего элемента условного обозначения не имеют.

Четвертый элемент обозначения

Группа приборов	Условное обозначение
Лампы генераторные всех диапазонов и лампы модуляторные	Буква, обозначающая характер охлаждения или наличие: А – воздушное, Б – водяное
Магнетроны, клистроны, электроннооптич. преобразователи, разрядники, фотоэлектронные умножители, лампы бегущей и обратной волн	Буква, обозначающая разновидность типа прибора
Газотроны, игнитроны, экситроны, кенотроны, тиратроны (за исключением тиратронов тлеющего разряда и маломощных в оформлении приемно-усилит. ламп)	Дробь, где числитель указывает среднее значение тока в а (в импульсных приборах импульсное значение тока), знаменатель – амплитудное значение обратного напряжения в в
Приемно-усилит. лампы и кенотроны к ним относящиеся:	
в металлич. оболочке	Без обозначения
в стеклянной оболочке	С
в керамич. оболочке	К
типа «Жолудь»	Ж
миниатюрные диаметром 19 и 22,5 мм	П
сверхминиатюрные:	
диаметром свыше 10 мм	Г
диаметром до 10 мм	Б
диаметром от 4 до 6 мм	А
диаметром менее 4 мм	Р
с замком в ключе цоколь	Л
с дисковым впаем	Д
Осциллографич. трубки и кинескопы	Буква, обозначающая тип люминофора экрана

Примечание. Группы приборов, не указанные выше, не имеют четвертого элемента обозначения. Приемно-усилит. лампы, маломощные тиратроны, стабилитроны, имеющие особые свойства, отличные от основного типа, имеют после четвертого элемента и тире: букву «В» – для ламп повышенной надежности и механич. прочности; букву «Е» – для ламп повышенной долговечности; букву «И» – для ламп, предназначенных для работы в импульсном режиме. Отсутствующий элемент обозначения (кроме последнего) отмечается знаком тире (–).

Пример обозначения: «6Н1П–В», где 6–округленное значение напряжения накала 6,3 в; Н–двойной триод; 1 – порядковый номер типа; П – миниатюрное оформление; В – лампа повышенной надежности.

Полупроводниковые приборы

Первый элемент обозначения

Исходный материал	Условное обозначение
Германий	Г или 1
Кремний	К или 2
Арсенид галлия	А или 3

Второй элемент обозначения

Класс или группа приборов	Условное обозначение
Выпрямит., универсальные, импульсные диоды	Д
Транзисторы	Т
Варикапы	В
СВЧ диоды	А
Фотоприборы	Ф
Неуправляемые многослойные переключающие приборы	Н
Управляемые многослойные переключающие приборы	У
Туннельные диоды	И
Стабилитроны	С
Выпрямит. столбы и блоки	Ц

Третий элемент обозначения

Группа приборов	Условное обозначение
Диоды НЧ:	
выпрямительные	101–399
универсальные	401–499
импульсные	501–599
Варикапы	101–999
СВЧ диоды:	
смесительные	101–199
видеодетекторы	201–299
модуляторные	301–399
параметрические	401–499
переключающие	501–599
умножительные	601–699
Фотодиоды	101–199
Фототранзисторы	201–299
Неуправляемые многослойные переключающие приборы:	
малой мощности	101–199
средней мощности	201–299
большой мощности	301–399
Управляемые многослойные переключающие приборы:	
малой мощности	101–199
средней мощности	201–299
большой мощности	301–399
Туннельные диоды:	
усилительные	101–199
генераторные	201–299
переключающие	301–399
Стабилитроны малой мощности: напряжение стабилизации	
1,0–9,9 в	101–199
10–99 в	201–299
100–199 в	301–399
Стабилитроны средней мощности: напряжение стабилизации	
1,0–9,9 в	401–499
10–99 в	501–599
100–199 в	601–699
Стабилитроны большой мощности: напряжение стабилизации	
1–9,9 в	701–799
10–99 в	801–899
100–199 в	900–999
Выпрямит. столбы малой мощности	101–199
Выпрямит. столбы средней мощности	201–299
Выпрямит. блоки малой мощности	301–399
Выпрямит. блоки средней мощности	401–499
Выпрямит. блоки большой мощности	501–599
Транзисторы малой мощности:	
низкой частоты	101–199
средней частоты	201–299
высокой частоты	301–399
Транзисторы средней мощности:	
низкой частоты	401–499
средней частоты	501–599
высокой частоты	601–699
Транзисторы большой мощности:	
низкой частоты	701–799
средней частоты	801–899
высокой частоты	901–999

Четвертый элемент обозначения – буква, указывающая разновидность типа.

Примеры обозначения ПП приборов: ГТ108А – германиевый маломощный НЧ транзистор, разновидность типа А; 2Д503Б – кремниевый импульсный диод, разновидность типа Б. *И. К. Дадерко.*

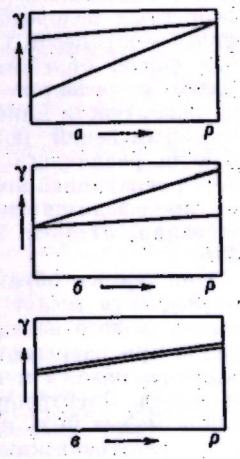
ЭЛЕКТРООБОГАЩЕНИЕ полезных ископаемых (electrical concentration; eléctro-enrichissement; elektrische Anreicherung) — отделение ценных компонентов от пустой породы, основанное на действии электрич. поля на их частицы, различающиеся электрофизич. св-вами. Для Э. используются методы *электросепарации*. Из них наиболее применимы методы, основанные на различии в электропроводности, в способности к приобретению электрич. зарядов при контакте и трении и в диэлектрич. проницаемости разделяемых минералов. Использование униполярной проводимости, пироэлектрич., пьезоэлектрич. и др. явлений может быть эффективно только в отдельных случаях. Обогащение по электропроводности происходит успешно, если компоненты смеси минералов значительно отличаются по величине проводимости. Таблица 1 позволяет судить о возможности такого разделения ряда материалов и пород.

Табл. 1. Характеристика возможности электрич. сепарации минералов и пород по электропроводности (по Н. Ф. Олофинскому)

1. Хорошо проводящие	2. Полупроводящие	3. Плохо проводящие	
Антрацит	Антимонит	Алмаз	Магнезит
Арсенопирит	Боксит	Альбит	Монацит
Галенит	Бурый железняк	Анортит	Мусковит
Гематит	Висмутовый блеск	Апатит	Нефелин
Графит	Вольфрамит	Бадделеит	Оливин
Золото	Гранат (железненный)	Барит	Роговая обманка
Ильменит	Гюбнерит	Бастнезит	Сера
Ковеллин	Каолинит	Берилл	Силлиманит
Колумбит	Касситерит	Биотит	Сподумен
Магнетит	Киноварь	Волластонит	Ставролит
Манганит	Корунд	Гиперстен	Турмалин
Пирит	Лимонит	Гипс	Флюорит
Пиролюзит	Сидерит	Гранат (светлый)	Целестин
Пирротин	Смитсонит	Кальцит	Циркон (слабо ожелезненный)
Платина	Сфалерит	Каменная соль	Шеелит
Рутил	Тунгстит	Карналлит	Шпинель
Серебро	Фаялит	Кварц	Эпидот
Танталит	Хромит	Кианит	
Тетраэдрит	Циркон (сильно ожелезненный)	Ксенотим	
Титаномагнетит			
Халькозин			
Халькопирит			

Хорошо отделяется 1-я и 2-я группы от 3-й. Несколько труднее отделяются члены 1-й группы от 2-й. Разделить же минералы 2-й группы от 3-й или одной и той же группы на основе использования только естеств. различий в электропроводности практически невозможно. В этом случае применяют специальную подготовку материалов для искусственного увеличения различий в их электропроводности.

Наиболее распространенный способ подготовки — изменение поверхностной влажности минералов. Осн. фактор, определяющий полную электропроводность частиц непроводящих и полупроводящих минералов,— их поверхностная электропроводность. Поскольку атм. воздух содержит значит. количество влаги, последняя, адсорбируясь на поверхности зерен, резко влияет на величину их электропроводности. Регулируя количество адсорбированной влаги, можно управлять процессом электрич. сепарации. При этом возможны три осн. случая (рис.): а) собственные проводимости 2 минералов в сухом воздухе различны



Осн. случаи зависимости электропроводности минералов от влажности: γ — электропроводность; p — влажность.

(отличаются на 2 порядка или больше), но вследствие адсорбции влаги в воздухе нормальной влажности разница в электропроводностях исчезает; б) минералы обладают

близкими собств. электропроводностями, но из-за неодинаковой степени гидрофобности их поверхностей во влажном воздухе появляется существ. разница в проводимостях; в) проводимости близки и не меняются при изменении влажности.

Электрич. сепарацию минеральной смеси в случае а) необходимо проводить в сухом воздухе или после предварит. сушки. При этом для поддержания постоянства поверхностной проводимости кратковременно нужна только сухость поверхности частиц; их же внутренняя влажность существ. значения не имеет. В случае б) необходимо увлажнение, обеспечивающее повышение электропроводности более гидрофильного минерала. Лучшие результаты получаются при выдерживании материала и при сепарации его в кондиционированной атмосфере при оптим. влажности. В случае в) следует искусственно изменить степень гидрофобности одного из минералов (наиболее эффективно — путем реагентной обработки поверхностноактивными веществами). Минералы можно обрабатывать селективно закрепляющимися на их поверхности органич. реагентами — гидрофобизаторами; неорганич. реагентами, способными сделать минеральную поверхность гидрофильной, и сочетанием этих реагентов (при этом неорганич. реагенты могут играть роль регуляторов, влияющих на закрепление органич. реагентов). При подборе режима обработки поверхностноактивными реагентами целесообразно использовать богатый опыт флотации аналогичных минералов.

Если разделяемая пара имеет близкие собств. электропроводности и нет возможности селективно изменить степень гидрофобности их поверхности путем обработки поверхностноактивными веществами, то в качестве методов подготовки можно использовать химич. или термич. обработку или облучение. Первая заключается в образовании на поверхности минералов пленки нового вещества — продукта хим. реакции. При подборе реагентов для хим. обработки (жидких или газообразных) используют известные из аналитич. химии или минералогии характерные для данных минералов реакции: напр., для обработки кремнистых минералов — воздействие фтористым водородом; для подготовки сульфидов — процессы сульфидизации элементарной серой, обработку солями меди и т. д. Часто встречается обратный случай, когда на поверхности минералов в процессе вторичных изменений появляются поверхностные пленки различного рода образований, к-рые перед сепарацией необходимо счищать. Очистка производится механич. методами (дезинтеграция, оттирка) или также химич. способом.

При термич. обработке различие в электропроводности может быть достигнуто за счет неодинакового изменения проводимости минералов при нагревании, при восстановит. или окислит. обжиге и путем использования др. эффектов. Электропроводность нек-рых минералов может быть изменена облучением УФ, ИК, рентгеновскими или радиоактивными лучами.

Э., основанное на способности минералов приобретать различные по знаку или величине электрич. заряды при контакте или трении, обычно применяется для разделения минералов с полупроводящими или непроводящими св-вами. Возможность разделения этим способом наиболее распространенных материалов иллюстрируется табл. 2. Макс. разница в величине зарядов разделяемых минералов достигается за счет подбора материала, с к-рым они контактируют, а также изменения характера движения минеральной смеси при зарядке (вибрация, интенсивное перетирание и распыливание).

Электрич. св-ва поверхности минералов могут широко регулироваться описанными выше способами. Подготовит. операциями, на

Табл. 2. Характеристика возможности электростатич. сепарации нек-рых минералов (по Джонсону)

Материал	Относит. напряженность поля, необходимая для отклонения от траектории свободного падения	Отклоняемость
Самородные элементы		
Графит чешуйчатый	1,00	НО
Сера	3,90	ОП
Галоиды		
Каменная соль	1,45	НО
Флюорит	1,84	НО
Окислы		
Кварц кристаллический	4,80	ОО
Корунд	4,90	НО
Хромит	2,01	НО
Боксит	3,06	ОО
Карбонаты		
Кальцит	3,90	ОП
Доломит	2,95	ОП
Магнезит	3,06	ОП
Сидерит	2,56	НО
Смитсонит	4,45	ОО
Силикаты		
Микроклин	2,67	НО
Олигоклаз	2,23	ОО
Пироксен	2,17	ОО
Роговая обманка	2,51	ОО
Нефелин	2,23	НО
Гранат	6,45	НО
Циркон	4,18	ОО
Кианит	3,28	НО
Турмалин	3,56	ОО
Мусковит	1,06	ОП
Биотит	1,73	НО
Серпентин	2,17	ОП
Тальк	2,34	НО
Каолинит	2,39	ОО
Сульфаты		
Барит	2,06	НО
Гипс	2,73	ОП
Ангидрит	2,78	ОП
Фосфаты		
Апатит	4,18	ОП
Вольфраматы и молибдаты		
Вольфрамит	2,62	НО
Шеелит	3,06	НО
Уголь		
Антрацит	1,28	НО
Битуминозный уголь	1,45	ОП
Битуминозный уголь (кокс)	2,23	ОП

* НО — не реагирует на перемену полярности электродов; ОП — отклоняется в сторону полож. электрода; ОО — отклоняется в сторону отриц. электрода.

Для четкой сепарации необходимо, чтобы материалы обладали различной отклоняемостью, чтобы разница в относит. напряженности поля была не менее 1,0—1,5.

правило, являются сушка материала, узкая классификация его по крупности и обеспыливание.

Для Э. материала крупностью менее 0,15 *мм* весьма перспективен процесс трибоадгезионной сепарации.

Электрич. сепарация на основе различий в диэлектрич. проницаемости минералов широко используется в практике минералогич. анализа. В пром-сти, вследствие отсутствия подходящих жидких сред и сравнительно низкой производительности сепараторов, она нашла пока огранич. применение (в основном при доводке концентратов редких и редкоземельных металлов). Диэлектрич. проницаемость наиболее часто встречающихся минералов дана в табл. 3. Для электрич. сепарации

Табл. 3. Диэлектрич. проницаемость нек-рых минералов (по Е. В. Рожковой и Л. В. Проскуровскому)

Минерал	ε	Минерал	ε
Апатит	5,8	Натролит	5,5
Актинолит	6,6	Нефелин	6,2
Антофиллит — асбест	10,5	Ортит	4,2
Биотит	10,3	Роговая обманка	4,9; 5,8
Берилл	3,9—7,7	Рутил	10,6
Барит	7,9; 6,2	Реальгар	7,6
Вермикулит	9,5; 13,5	Родонит	4,6
Гипс	7,9	Сфен	4,0; 6,6
Доломит	6,3; 7,4; 8,2	Спессартин	7,6
Диопсид	10,0	Самарскит	7,7
Змеевик	10,0	Сидерит	5,2
Кварц	4,5; 6,0; 5,5	Сильвин	6,0
Кальцит	6,5; 8,1	Турмалин	5,6
Каолинит	9,1	Тремолит	7,6
Корунд	5,65; 6,35; 5,8	Тальк	5,8
Киноварь	6,2	Топаз	7,4
Кианит	5,7	Флюорит	6,2; 8,5; 7,4
Лимонит	3,2	Хризоколла	13,1
Лепидолит	6,7	Циркон	3,6—5,2
Монацит	3,0; 6,6	Шеелит	3,5
Магнезит	10,6	Эпинит	5,8
Малахит	4,4	Эвксенит	5,2
Микроклин	5,5	Эгирин	7,2
Мирабилит	8,3	Эпидот	6,2

Табл. 4. Основные типы и конструкции электрич. сепараторов, используемых для обогащения полезных ископаемых (по Н. Ф. Олофинскому)

Тип сепаратора	Конструкции
Сепараторы для зернистых материалов	
Коронный	Барабанные, камерные, трубчатые, ленточные (конвейерные), пластинчатые
Электростатический	Барабанные, камерные, ленточные, каскадные, пластинчатые
Диэлектрический	Плоские, щелевые, «диэлектрические сита»
Комбинированные: коронно-электростатический, коронно-магнитный, трибоадгезионный	Барабанные
Сепараторы для пылевидных материалов	
Коронный	Камерные (с верхней или нижней подачей), трубчатые
Комбинированные: коронно-электростатический	Камерные, дисковые
трибоадгезионный	Барабанные

полезных ископаемых используются весьма разнообразные по типу и конструкции электрич. сепараторы (табл. 4). Выбор их определяется различием в электрофизич. св-вах материалов, к-рые необходимо разделять крупностью их частиц, а также особенностями вещественного состава (форма частиц, уд. вес и т. д.).

Э. полезных ископаемых отличается экономичностью и высокой эффективностью процесса; поэтому оно находит все более широкое применение (табл. 5).

Табл. 5. Главнейшие полезные ископаемые и материалы, обрабатывающиеся с помощью электрич. методов обогащения

Наименование	Область применения
Шлихи и комплексные концентраты россыпных и рудных месторождений	Селективная доводка шлихов и комплексных концентратов, содержащих золото, платину, касситерит, вольфрамит, монацит, циркон, рутил и др. ценные компоненты
Алмазосодержащие руды	а) Обогащение руд и первичных концентратов; б) доводка коллективных концентратов; в) регенерация алмазосодержащих отходов
Титаномагнетитовые руды	Обогащение руд, промпродуктов и отходов
Руды железные	а) Обогащение магнетитовых и других типов руд; б) получения высококачеств. концентратов глубокого обогащения; в) обеспыливание и классификация различных пром. продуктов
Руды марганцевые и хромитовые	а) Обогащение руд, пром. продуктов и отходов обогатительных фабрик; б) обеспыливание и классификация различных продуктов
Руды оловянные и вольфрамовые	а) Обогащение руд; б) доводка некондиционных продуктов
Руды литиевые	Обогащение сподуменовых, цинвальдитовых и лепидолитовых руд
Графит	а) Обогащение руд; б) доводка и классификация некондиционных концентратов
Асбест	а) Обогащение руд, пром. продуктов и отходов обогатительных фабрик; б) обеспыливание и классификация продуктов
Керамич. сырье	Обогащение, классификация и обеспыливание полевошпатовых и кварцевых пород
Каолин, тальк	Обогащение и выделение тонкодисперсных фракций
Фосфориты	Обогащение, классификация
Соли	Обогащение, классификация
Флюсы металлургические, формовочные пески	Обогащение, классификация, регенерация
Уголь каменный	а) Обогащение, классификация и обеспыливание мелких классов; б) петрографич. обогащение (выделение фюзена)

Лит.: Олофинский Н. Ф., Электрические методы обогащения, 2 изд., М., 1962; Ralston O. C., Electrostatic separation of mixed granular solids, Amst. [a. o.], 1961; Fraas F., Electrostatic separation of granular materials, [Wash., 1962].

В. И. Ревнивцев.

ЭЛЕКТРООБРАБОТКА ШЕРСТИ (electro treatment of wool; traitement électrique de la laine; Elektroverarbeitung der Wolle) — воздействие на шерстяные волокна, пряжу или ткани *тлеющего разряда* в атмосфере разряженного воздуха в течение определенного времени. В результате такой обработки создаются новые, существенно улучшенные физико-механич. характеристики шерсти. Тлеющий разряд осуществляется в плоском или цилиндрич. воздушном конденсаторе, в межэлектродном пространстве к-рого устанавливается диэлектрич. прокладка из слюды, стекла или бакелизированного картона. Диэлектрик стабилизирует разряд, играя роль ограничивающего ток защитного сопротивления. С целью облегчения возбуждения тлеющего разряда и его интенсификации все устройство помещается в атмосферу разряженного до 0,1 атм. воздуха. Питание промежутка происходит от источника повышенной частоты (400—500 *гц*).

Ток разряда состоит из ряда следующих друг за другом импульсов, амплитуда к-рых намного превышает уровень среднего тока. Возникают существенные местные повышения напряженности электрич. поля, благодаря чему в отдельных точках разрядного промежутка и в том числе у поверхности обрабатываемого материала носители зарядов могут ускоряться до относительно высоких энергий. Бомбардировка ускоренными заряженными частицами поверхности обрабатываемого материала сопровождается разрушением и изменением структуры поверхности шерстяных волокон. Это явление, по-видимому, и составляет одну из основных сторон процесса Э. ш.

Принцип. схема лабораторной установки для осуществления процесса Э. ш. показана на рис. 1. В вакуумной камере *1* помещены электроды *2* плоского конденсатора, между к-рыми находится диэлектрич. прокладка *3*. Вакуум в камере поддерживается с помощью насоса *12* через трубопровод *4* и вентили регулирования давления воздуха *7*. Давление в камере измеряется манометром *6*. Напряжение подается в камеру через вводы *5*. Система питания установки высоким напряжением включает в себя преобразователь частоты *8* (400 *гц*), регулятор системы возбуждения преобразователя *9*, высоковольтный тр-р *10* с вольтметром *11* на стороне высокого напряжения и выпрямитель системы возбуждения *13*. Установка позволяет производить обработку шерстяных волокон в виде отрезков ленты или прочеса, а также кусков шерстяных тканей, фетра или войлока.

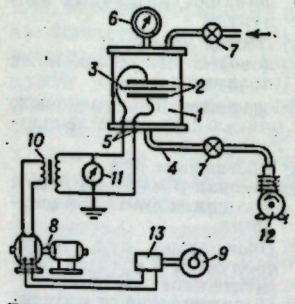


Рис. 1. Схема установки для электрообработки шерсти.

Для электрообработки тканей в производств. условиях установка может быть выполнена по принципиальной схеме рис. 2. Здесь цилиндры *1*, *2* и валики *3*, *4* служат для перемотки ткани и ее пропуска через промежутки тлеющего разряда, к-рый возбуждается между металлич. вращающимися цилиндрами *5*, находящимися под высоким напряжением, и наружными заземленными электродами *6*, отделенными от цилиндров *5* воздушными прослойками и стабилизирующими диэлектрич. прокладками *7*. Вся эта система помещается в вакуумную камеру.

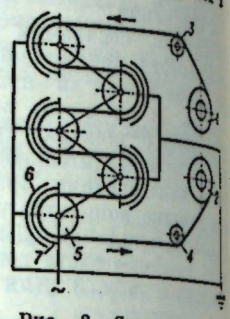


Рис. 2. Схема установки для электрообработки шерстяных тканей.

Производительность установки при умеренных ее размерах до 80—100 *кг/час*. Источник питания установки напряжением (повышенной частоты) порядка 5 *кв* должен иметь мощность, соответствующую расходу энергии 0,1—0,2 *квт-ч* на 1 *кг* обрабатываемого материала.

В результате обработки шерстяных волокон тлеющим разрядом в течение 2—3 мин. прочностные хар-ки (разрывная прочность и удлинение) отдельных волокон не изменяются. Однако механич., а следовательно, технологич. св-ва пряжи, ткани, фетра или войлока существенно улучшаются. Это обусловлено изменениями структуры поверхностного слоя волокон, приводящими к увеличению сил сцепления между волокнами. Последнее связано с возрастанием коэффициента трения для отдельных волокон после их обработки тлеющим разрядом. Изучение обработанных волокон показало, что изменения их структуры малы и относятся гл. обр. к очень тонкому поверхностному слою. Однако это оказывается достаточным для значительного улучшения технологич. свойств шерстяных волокон. В результате обрывность пряжи в процессе прядения снижается почти на 50%, что является следствием увеличения, на 15—20% разрывной прочности пряжи в целом и заметного уменьшения неровноты по прочности.

Обработка шерсти тлеющим разрядом приводит также и к заметному повышению качественных показателей тканей. Так, прочность на разрыв возрастает от 10% до 30%; в значительной степени повышается устойчивость тканей к истиранию. График рис. 3, на к-ром приведены зависимости потери в весе ткани от числа оборотов абразивного диска, показывает, что в случае обработанного материала (кривая *2*) потери его веса происходят существенно медленнее, чем для необработанного материала (кривая *1*). Т. о., обработка шерсти тлеющим разрядом улучшает устойчивость ткани в носке. Увеличение сил сцепления между волокнами снижает также способность этих изделий к вытягиванию, что особенно существенно для вязаных изделий.

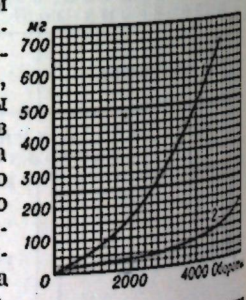


Рис. 3. Кривые прочности ткани, необработанной и обработанной тлеющим разрядом.

После обработки шерстяных волокон тлеющим разрядом существенно возрастает способность волокон к поглощению влаги. Это объясняется нарушениями в поверхности очень тонкого наружного слоя волокон, получаемого название «эпитикула», за счет его бомбардировки ускоренными ионами. Через эти нарушенные места поверхности вода и растворенные в ней красящие вещества могут уже значительно свободнее проникать внутрь волокон. Благодаря этому оказывается возможным существенно интенсифицировать процесс окраски шерсти — сократить время окрашивания в десятки и даже сотни раз — и производить окраску при пониженных темп-рах, что, кроме сокращения затрат тепла, способствует сохранению начальных физико-механич. св-в волокон. Э. ш. открывает также возможность нанесения на ткани цветных изображений и узоров. Для этого при обработке тлеющим разрядом на ткань накладываются щитки или маски из к.-л. подходящего материала, напр. бумаги, в к-рых проделаны фигурные прорези. При этом воздействию разряда будут подвергаться лишь незащищенные участки, к-рые и будут окрашиваться существенно интенсивнее необработанных участков. Благодаря этому при соответствующем подборе красителей и режима окрашивания может быть достигнута узорная и многоцветная окраска шерстяных тканей.

Хим. состав основной, внутренней части шерстяного волокна при обработке тлеющим разрядом в течение 2—3 мин. не изменяется. Происходят лишь изменения хим. состава поверхностного слоя, к-рый окисляется за счет воздействия активного атомарного кислорода и озона, образующихся в разряде. В результате этого существенно снижается усадка шерстяных тканей при стирках. Одновременно ослабляется до нек-рой степени и свойство свойлачиваемости шерстяных волокон.

В. И. Левитов.

ЭЛЕКТРООКРАШИВАНИЕ (electro-dyeing; électropeinture; elektrisches Färben) — распыление краски, зарядка ее диспергированных частиц и нанесение их на поверхность окрашиваемого изделия в электрич. поле. В СССР впервые технич. применение электрич. поля для распыления и нанесения краски на изделия было предложено в 1938 А. Л. Чижевским, к-рый еще в 1933 открыл явление распыления жидкостей под действием электрич. заряда [1].

Процесс Э. ведут следующим образом: высокое напряжение (обычно пост. тока) прикладывается между изделием, подлежащим окраске, и распылит. головкой. Отрицат. полюс источника высокого напряжения подается на распылит. головку, являющуюся коронирующим электродом, а положит. полюс и окрашиваемое изделие заземляются. На острых кромках создается высокая напряженность электрич. поля и возникает *коронный разряд*. Т. к. отрицат. корона переходит в искровой разряд (пробой) при бо́льшей разности потенциалов между электродами, чем положит. корона, то при Э. используется исключительно отрицат. корона.

В зависимости от конструкции распылит. головки лакокрасочный материал с помощью механич. сил (если распылит. головка выполнена в виде вращающейся чаши) и электрич. сил поля, а иногда только лишь силами электрич. поля (если распылит. головка имеет вид неподвижного лотка) превращается в высокодисперсный аэрозоль, частицы к-рого получают отрицат. заряд в поле коронного разряда. Частицы аэрозоля движутся по линиям поля, заканчивающимся на окрашиваемом изделии. Осаждаясь, они за счет кулоновских сил отталкивания одноименно заряженных тел образуют равномерный высококачеств. слой покрытия и отдают свой заряд заземленному изделию.

Полнота осаждения лакокрасочного материала на поверхности при таком способе окраски может достигать 99% [2]. В практич. установках эта цифра снижается примерно до 80% из-за необходимости сделать процесс Э. экономически целесообразным со всех точек зрения.

Преимущества Э. по сравнению с др. методами окраски: 1) большая экономия лакокрасочных материалов за счет макс. полноты их осаждения на окрашиваемых изделиях (в ряде случаев в 2—3 раза [3]. Указанная величина может изменяться как в одну, так и в другую сторону в зависимости от вида изделия и от организации процесса); 2) значит. оздоровление условий труда в результате резкого уменьшения туманообразования при распылении краски; 3) возможность автоматизации процесса, к-рая позволяет увеличить производительность труда, снизить расход электроэнергии, затрачиваемой на компрессию воздуха и на обеспечение эффективной вентиляции. Кроме того, операторы, обслуживающие автоматизиров. линии Э., по сути дела уже не являются окрасочниками.

Недостатки метода Э.: 1) неприменимость или сложность процесса в случае окраски изделий сложной конфигурации; 2) необходимость переналадки электроокрасочной камеры при обширной номенклатуре изделий, отличающихся друг от друга по габаритам и форме [4]; 3) необходимость применения специальных приспособлений или мер при окрашивании изделий из непроводников (дерево, пластмассы и др.). Несмотря на отмеченные недостатки, Э. находит все более широкое распространение в произ-ве массовых и крупносерийных изделий. Все большее распространение получает и ручное Э., что дает право предполагать, что Э. найдет применение в серийном и мелкосерийном произ-вах.

Для окраски в электрич. поле могут применяться лакокрасочные материалы на основе масел, глифталевых и пентафталевых смол, мочевино- и меламиноформальдегидных смол, битумов, асфальтов и др. Возможность применения нитроцеллюлозных и перхлорвиниловых лакокрасочных материалов, содержащих этиловый спирт, изучается. Качество Э. зависит гл. обр. от физико-химич. и электрич. св-в лакокрасочного материала и режима окраски. Критерием применимости лакокрасочного материала для Э. с точки зрения его электрич. св-в являются уд. объемное сопротивление ρ_v и диэлектрич. проницаемость ε. Оптимальные их значения находятся в пределах: $\rho_v = 10^6 - 10^7$ *ом·см*; $\varepsilon = 7 - 10$ [5]. При этом лакокрасочный материал должен иметь рабочую вязкость при 20° С порядка 15—30 сек. по вискозиметру ВЗ-4. Выпускаемые эмали, краски и лаки не обладают необходимыми для распыления в электрич. поле св-вами. Поэтому необходимо на местах подбирать рецептуру рабочего состава путем введения различных растворителей (полярных или неполярных) или их смеси и разбавления составов до заданной рабочей вязкости (таблица 1 [4]).

Табл. 1. Электрические свойства лакокрасочных материалов, пригодных для распыления в электрическом поле

Марки лакокрасочных материалов	Рекомендуемая смесь растворителей (в % объема)	Вязкость материала по вискозиметру ВЗ-4 при 20°С		% разведения	Уд. объемное сопротивление ρ_v (ом·см)			Диэлектрич. проницаемость ε		
		исходная	рабочая		растворителя	материала в исходной вязкости	материала в рабочей вязкости	растворителя	материала в исходной вязкости	материала в рабочей вязкости
Эмаль № 1425 (масляная)	сольвент 40, этилцеллозольв 30, ацетон 30	126	15	35	$1{,}2\cdot10^{6}$	$1{,}1\cdot10^{10}$	$2{,}2\cdot10^{7}$	—	2,2	5,5
Эмаль МЛ-12-29 бирюзовая (синтетическая)	ацетон 20, ксилол 50, бутанол 15, этанол 15	105	20	23,6	$7\cdot10^{5}$	$1{,}6\cdot10^{8}$	$2{,}0\cdot10^{7}$	11,4	4,6	6,1
Грунт МС-17	сольвент 50, этанол 20, ацетон 20, этилцеллозольв 10	57	15	22,7	$3{,}5\cdot10^{6}$	$1{,}9\cdot10^{9}$	$1{,}8\cdot10^{7}$	13,5	4,24	5,8
Грунт ФЛ-014	сольвент 50, этанол 20, ацетон 20, этилцеллозольв 10	76	15	20,1	$3{,}5\cdot10^{6}$	$1{,}4\cdot10^{10}$	$5{,}4\cdot10^{7}$	13,5	3,6	4,5

При автоматизиров. произ-ве все процессы, связанные с Э.,— подготовка поверхности под окраску, электроокраска, сушка — объединяются одной линией конвейера, а их ритм строго согласуется. На рис. 1 показана типовая электроокрасочная камера с оборудованием. Обычно в камере размещается неск. распылителей в ряд (рис. 2). В зависимости от конфигурации и габаритов окрашиваемых изделий распылители устанавливаются ступенчато по высоте либо заменяются спец. роботами, к-рые обеспечивают распылит. головкам возвратно-поступат. движение в вертикальной плоскости с определ. скоростью, зависящей от скорости конвейера. Распылители с той же целью при необходимости могут устанавливаться и на потолке камеры. Часто требуется, чтобы окрашиваемые изделия в зоне действия распылит. головок имели вращат. движение вокруг вертикальной оси подвески.

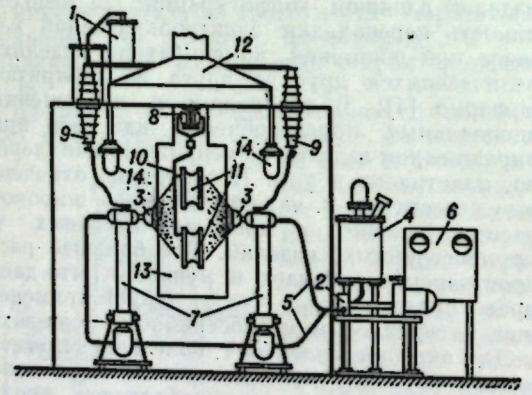


Рис. 1. Электроокрасочная камера: *1* — источник высокого напряжения; *2* — дозатор краски; *3* — распылит. головка; *4* — бачок для краски; *5* — шланг подачи краски; *6* — пульт управления; *7* — распылитель; *8* — конвейер; *9* — проходной изолятор; *10* — подвеска; *11* — окрашиваемое изделие; *12* — вентиляция; *13* — проемы для ввода конвейера; *14* — освещение камеры.

В установку для Э. входят: высоковольтный источник питания, распылит. головка и дозирующее устройство. Высоковольтные источники питания могут быть трех различных схем. Наиболее целесообразно применение *генераторов электростатических*, к-рые не боятся кз (явление, нередкое в процессах Э.,

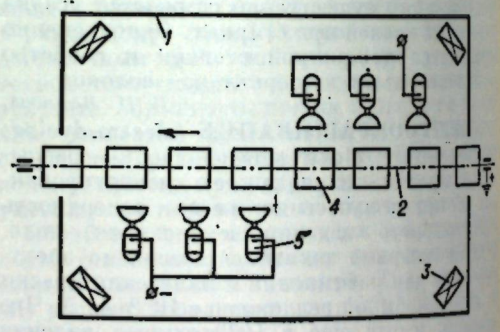


Рис. 2. Схема электроокрасочной камеры с пневматическими распылит. головками: *1* — камера; *2* — конвейер; *3* — вентиляц. устройства; *4* — изделия; *5* — распылители.

напр., из-за рывков в движении конвейера и др.), более безопасны в эксплуатации, чем др. источники питания, обладают миним. запасом энергии, что снижает пожароопасность при пробое, а также допускают регулирование выходного напряжения в широких пределах и высокую стабильность напряжения. Вследствие этого они широко распространены для окраски как в стационарных, так и в передвижных установках и в устройствах для ручного Э.

В СССР в электроокрасочных установках пока применяются гл. обр. источники высокого напряжения, выполненные по трансформаторно-вентильной схеме. Она состоит из высоковольтного тр-ра и высоковольтного кенотрона, оснащенных пуско-регулирующей, сигнальной и защитной аппаратурой [напр., выпрямит. устройство з-да «Мосрентген» марки В-140-5-2, обеспечивающего макс. напряжение 140 *кв* (при однополупериодном выпрямлении) с макс. током 5 *ма*]. Подобные

устройства значительно уступают по своим качествам электростатич. генераторам. Используются также высоковольтные источники, выполненные по трансформаторно-вентильной схеме с умножением напряжения. Здесь тр-р берется не на рабочее, а на пониженное напряжение (в пределах 10—15 *кв*), к-рое затем повышается до рабочего (порядка 100 *кв*) каскадами емкостного вентильного умножителя. Разновидность этой схемы — схема с генератором ВЧ и воздушным тр-ром.

Распыляется лакокрасочный материал пневматич. пистолетами или электрораспылит. головками. Последние подразделяются на вращающиеся (центробежные) и статические, к-рые распыляют материал силами только электрич. поля. Центробежные распылит. головки изготовляются в виде чаш, грибков, дисков (рис. 3, *а*, *б*, *в*, *г*). Наиболее распространены головки в виде чаш самых различных форм и конструкций. На рис. 3, *а* приведена чаша с центральной подачей краски, а на рис. 3, *б* — с боковой. Острые края чаши являются в процессе работы коронирующими кромками. От формы чаши зависит качество Э. Головки в виде грибка (рис. 3, *в*) не хуже, чем в виде чаш, но применяются они реже. Еще более редко и только для окраски изделий, имеющих большое отношение длины к поперечным размерам, используются дисковые головки, обладающие большой производительностью. Дисковая головка обычно устанавливается на распылителе, к-рый вращает ее в горизонт. плоскости и одновременно дает возвратно-поступат. движение в вертикальной. Такие головки изготовляются как с боковой, так и с центральной подачей краски (рис. 3, *г*). Материалом для распылит. головок обычно служит металл, но последнее время применяют и диэлектрики. Головки устанавливаются на распылителе и вращаются электродвигателем небольшой мощности (50—100 *вт*) или пневмотурбиной. На рис. 3, *е* показана статич. распылит. головка в виде лотка. Подача и слив лакокрасочного материала регулируется таким образом, чтобы он подошел к коронирующей кромке тонким слоем. Крупный недостаток лотка, ограничивающий его применение,— сравнительно узкий горизонтальный факел лакокрасочного материала. В тех случаях, когда необходимо

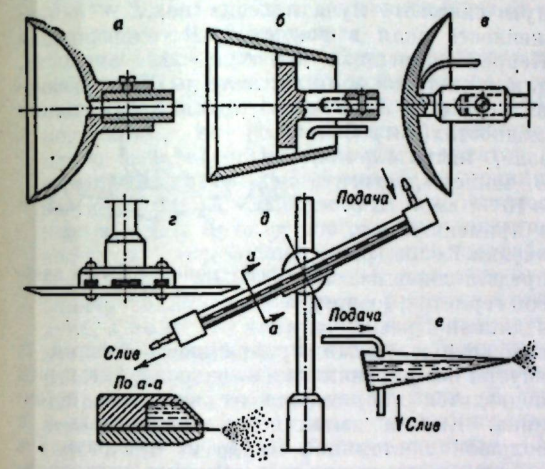


Рис. 3. Типы распылительных головок.

окрашивать очень крупные изделия несложной конфигурации (напр., наружную поверхность ж.-д. вагонов), широко применяется щелевая распылит. головка (рис. 3, *д*). Краска проходит через нее самотеком. Не исключено применение таких головок и для окраски мелких деталей несложной конфигурации, если на подвеску будет помещено большое их количество (для получения большой площади под окраску). Описанные головки имеют наибольшее распространение, а вообще создано множество их конструкций.

Для получения качественных покрытий в процессе Э. необходимо обеспечить постоянство подачи лакокрасочного материала при малой величине самой подачи. Подача лакокрасочного материала из питающего бачка к распылит. головке производится *дозаторами*. В тех случаях, когда к качеству лакокрасочного покрытия не предъявляется иных требований, кроме защиты от коррозии (напр., грунтовка литых тракторных деталей), возможно подавать материал самотеком или сжатым воздухом. Краскодозирующая установка включает в себя электродвигатель с регулируемой скоростью вращения или электродвигатель и сочлененный с ним вариатор [в том случае, если электродвигатель (асинхронный) не допускает регулировки скорости] и шестеренчатый насос. Вал электродвигателя (вариатора) соединяется с валом насоса карданным валиком из диэлектрика. На изолирующей подставке обычно монтируется несколько индивид. насосов каждый со своим приводом, чтобы было возможно питание сразу нескольких распылит. головок. Большой недостаток шестеренчатых насосов при использовании их в установках Э. — сравнительно быстрый их износ из-за воздействия частиц пигмента, входящих в состав красок. При работе с материалами, содержащими тяжелые пигменты, как, напр., грунт 138 или эмаль ФСХ-23, такие насосы вообще непригодны. В этом случае необходимо устанавливать дозаторы с другими типами насосов, напр. диафрагменными. Электроокрасочные камеры снабжаются рядом вспомогат. устройств: 1) средства электробезопасности — системы автоблокировок, ручной или автоматич. разрядник для снятия остаточного напряжения с аппаратуры, ограничит. сопротивление для ограничения величины тока кз (если источник высокого напряжения выполнен по трансформаторно-вентильной схеме), системы сигнализации; 2) средства пожарной безопасности; 3) средства промсанитарии.

Состав оборудования, входящий в комплект ручной установки, для Э. почти тот же самый, что и для стационарной. Распылители применяются в форме пистолета с вращающимися или пневматич. головками. Последние иногда имеют сопла, к-рые позволяют управлять размерами и формой растра. В качестве источника высокого напряжения наиболее подходит электростатич. генератор. Возможно использование и трансформаторно-вентильной схемы с умножением напряжения. Все оборудование должно быть электробезопасным и по возможности малогабаритным и легким.

В табл. 2 даны усредненные технич. параметры и режимы работ электроокрасочных установок (данные получены расчетным путем и обобщением опыта работы существующих установок).

Табл. 2. Технич. параметры и режимы работы установок для электроокраски

Наименование параметра	Величина
Электрическая часть	
Напряжение на распылит. головках (*кв*)	65—120
Расстояние (*мм*) между:	
изделием и распылит. головкой	250—300
стенкой камеры и распылит. головками	800—1000
входом — выходом камеры и распылит. головками	800—1000
монорельсом конвейера — полом камеры и распылит. головками	800—1000
распылит. головками (в зависимости от диаметра) не менее	600
Технологическая часть	
Давление воздуха (*ати*):	
на распыление краски	0,9—1,5
на краску	0,2—0,5
Вязкость краски по вискозиметру ВЗ-4 при 18—23° С (сек.):	
при пневматич. распылении	15—20
при электростатич. распылении	18—30
Скорость конвейера (*м/мин*)	75 и более
Число оборотов окрашиваемого изделия в зоне электроокраски, если вращение необходимо (на 1 пог. *м* пути)	не менее 2
Размеры факела плоской струи пневматич. распылителя КРВ-2 (*мм*):	
высота	200—550
ширина	100—150
Диаметр факела круглой струи пневматич. распылителя КРВ-2 (*мм*)	100—150
Количество краски, распыляемой КРВ-2 (*г/мин*)	30—150
Расход сжатого воздуха на распыление краски КРВ-2 (*м³/час*)	6—15
Скорость вращения распылит. головок (*об/мин*)	900—1500
Расход сжатого воздуха на пневмотурбинку привода (*м³/час*)	18—20
Давление сжатого воздуха (*ати*)	1—3,5
Количество краски, распыляемой головками в зависимости от рода лакокрасочного материала, напряжения и числа оборотов головки (*г/мин*):	
при чаше диаметром 50 *мм*	8—30
при чаше диаметром 100 *мм*	12—60
при чаше диаметром 150 *мм*	15—100
Диаметры кольцевого факела (*мм*) при использовании чаши диаметром 50 *мм*:	
наружный	300—350
внутренний	90—130
при чаше диаметром 100 *мм*:	
наружный	400—500
внутренний	140—200
при чаше диаметром 150 *мм*:	
наружный	500—650
внутренний	250—350
Скорость движения воздуха в вытяжной вентиляции (*м/сек*)	0,2—0,5

Лит.: 1) Проблемы ионификации. [Сб. ст.], под ред. А. Л. Чижевского, т. 1, Воронеж, 1933; 2) Бочков А. Д., Окрашивание деталей в электрическом поле, М., 1958; 3) Применение сил электрического поля в промышленности и сельском хозяйстве, М., 1964; 4) Альбом оборудования и аппаратуры окрасочных цехов, М., 1962; 5) «Лакокрасочные материалы и их применение», 1963, № 4. *Ю. Д. Горюнов.*

ЭЛЕКТРООПТИЧЕСКИЙ МОДУЛЯТОР СВЕТА (electron optical light modulator; modulateur électro-optique de lumière; elektro-optischer Lichtmodulator)—устройство, в к-ром для модуляции света используется явление двойного лучепреломления в среде, находящейся под воздействием электрич. поля (электрооптич. эффект). Если прозрачное вещество поместить в электрич. поле, то молекулярная структура вещества изменяется, приобретая нек-рую симметрию, определяемую полем. Вследствие этого вещество получает способность к двойному лучепреломлению: плоскополяризов. луч света, попадая в такую среду, разделяется на два луча, поляризованных в взаимно-перпендикулярных направлениях и распространяющихся в веществе с различными скоростями. В результате при прохождении среде пути длиной l между лучами возникает разность хода Δ_λ, а по выходе из вещества луч оказывается поляризованным эллиптически. Величина и характер электрооптич. эффекта определяются природой вещества, а также направлением и величиной электрич. поля. В жидкостях возможен лишь квадратичный (по напряженности поля E) электрооптич. эффект, имеющий наибольшую величину в случае поперечного поля (луч света распространяется перпендикулярно направлению поля). Величина электрооптич. эффекта выражается ф-лой $\Delta_\lambda = BlE^2$, где Δ_λ — разность хода, выраженная в длинах волн, l — длина пути светового луча в веществе, E — напряженность поля в веществе, B — постоянная Керра, зависящая от природы жидкости, длины световой волны и темп-ры. Если l измерять в *см*, а E—в *в/см*, то в органических жидкостях(нитробензоле, нитротолуоле) B может достигать $\sim 10^{-10}$ *см/в*². В Э. м. с. применяются т. н. ячейки Керра (рис.), представляющие собой герметич. кювету 4 длиной в неск. *см*, снабженную двумя прозрачными окнами 3; внутри нее укрепляются электроды 5, к к-рым подводится напряжение от внешнего источника. Кювета заполняется жидкостью 6 с большой постоянной Керра и прозрачной в рабочей области спектра. Ячейка устанавливается между поляризатором 2, через к-рый проходит естественный свет 1, и анализатором 9. Оптич. оси поляризатора и анализатора взаимно-перпендикулярны (т. н. «скрещенные» поляризаторы), и поэтому плоскополяризованный свет 3, выходящий из поляризатора после ячейки Керра (свет 8), не может пройти через анализатор.

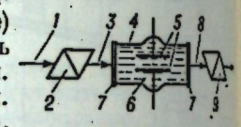


Схема использования ячейки Керра.

В качестве поляризаторов используются призмы Николя, Глана, Аренса, поляроидные пленки. Тщательно выполненные «скрещенные» поляризаторы могут обеспечить ослабление светового потока в 10^5 раз (относительно величины потока при параллельном расположении их осей). Под воздействием электрич. поля между электродами ячейки Керра жидкость, заполняющая ячейку, становится двоякопреломляющей, и плоскополяризованный луч, пройдя через нее, превращается в эллиптически поляризованный, благодаря чему часть световой энергии проходит через анализатор; чем больше напряженность поля, тем больше света проходит через анализатор. Если приложить к ячейке перем. напряжение частоты ν, то после анализатора можно получить луч света,модулиров. по амплитуде с частотой 2ν (т. к. эффект зависит от E^2) и поляризованный в плоскости поляризации анализатора.

Обладая малой инерционностью, жидкостная ячейка Керра может быть использована в качестве быстродействующего оптич. затвора и модулятора на частотах до 10^8 *гц*. Однако жидкостные ячейки Керра имеют ряд недостатков: для их работы необходимы высокие напряжения, в них велики потери света (50—70%), а на сверхвысоких модулирующих частотах (особенно существенных для *связи оптической*) в них сильно возрастают потери мощности, вызывая недопустимое нагревание жидкости. Поэтому все чаще предпочитают применять устройства, основанные на электрооптич. эффекте в кристаллах. В зависимости от симметрии *кристалла* в нем возможен как поперечный, так и продольный (луч света распространяется в направлении поля) электрооптич. эффект, причем тот и другой могут быть и линейным, и квадратичным (по напряженности поля). Наибольший электрооптич. эффект наблюдается в ряде пьезоэлектрич. кристаллов, в частности — в дигидрофосфате калия KH_2PO_4 и в дигидрофосфате аммония $NH_4H_2PO_4$. В них электрооптич. постоянная продольного линейного эффекта достигает $\sim 10^{-9}$ *см/в*, изменяясь в зависимости от направления осей кристалла.

Кристаллич. ячейка Керра представляет собой СВЧ резонатор, с помещенным в нем пьезокристаллом. Кроме амплитудной СВЧ модуляции, на пьезоэлектрич. кристаллах может быть построен фазовый модулятор когерентного света, действующий по принципу бегущей волны. Направление и плоскость поляризации луча и направление электрич. поля по отношению к кристаллографич. осям можно выбрать такими, что поле будет влиять только на скорость распространения луча, а не на его поляризацию. В этом случае луч, выходящий из кристалла, будет иметь различную фазу в зависимости от величины напряженности приложенного поля. В качестве модулирующего поля можно использовать поле бегущей электромагнитной СВЧ волны; для этого необходимо лишь добиться равенства скоростей модулирующей и световой волн. Такой модулятор может иметь полосу рабочих частот порядка неск. *Мгц*, причем индекс модуляции достигает единицы при мощности модуляции ~ 10 *вт* (в амплитудных модуляторах при полосе ~ 10 *Мгц* требуется пиковая мощность модуляции ~ 1 *квт*).

Недостаток пьезоэлектрич. кристаллов — значит. величина естеств. двойного лучепреломления и естеств. активности (способности вращать плоскость поляризации света, проходящего через кристалл), а также анизотропия оптич. св-в. Этих недостатков не имеют кристаллы кубич. структуры, среди к-рых есть кристаллы с большой ($\sim 10^{-10}$ *см/в*) электрооптич. постоянной (ZnS, CuCl). По-видимому, эти кристаллы найдут наибольшее применение в амплитудных и фазовых СВЧ модуляторах света. Кристаллич. Э. м. с. предназначены в основном для оптич. связи.

Лит.: Лазеры. Сб. ст., пер. с англ., М., 1963; «Тр. ин-та инженеров по электротехнике и радиоэлектронике» (США), рус. пер., 1963, т. 51, № 1, с. 258. *М. М. Горшков.*

ЭЛЕКТРОПЕЧАТЬ (electric printing; electroimpression; Elektrodruck) — печатание, при к-ром многократное воспроизведение одинаковых изображений достигается переносом краски с формы на воспринимающую поверхность (бумага, картон, пластмассовые пленки, жесть, текстильные материалы и др.) под действием электрич. поля (без существенного механич. давления) или непосредств. формированием изображения электрич. полями, зарядами или токами. При классич. способах печати жидкая краска с формы на воспринимающую поверхность переходит при значит. давлении. В связи с этим в печатной машине имеет место т. н. приправка — комплекс подготовит. операций, с помощью к-рых создается распределение давления печати в соответствии с особенностями печатной формы и печатной машины. Радикальный способ устранения приправки — устранение давления из печатного процесса, напр. использованием сил электрич. поля. При устранении давления из печатного процесса также увеличивается тиражеустойчивость форм (вследствие уменьшения износа), снижается металлоемкость печатных машин и расход электроэнергии на привод машин.

По характеру осн. технологич. процесса способы Э. делятся на две осн. группы (рис. 1,

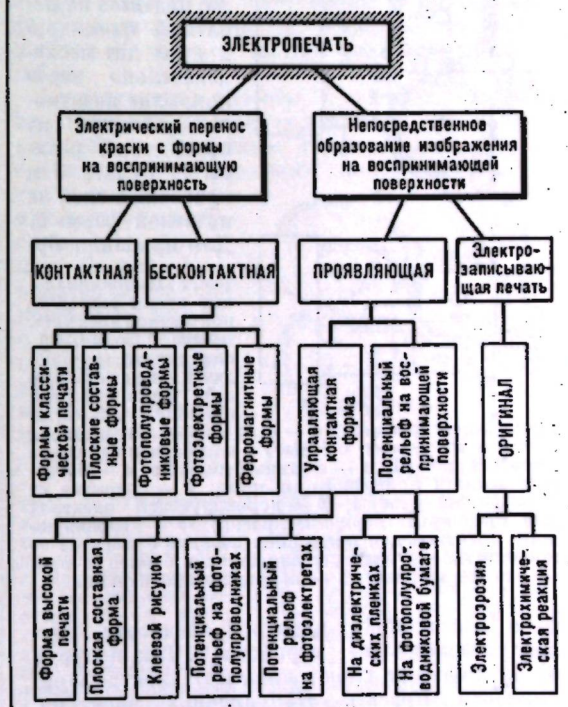


Рис. 1. Классификация способов электрич. печати.

строка 2). Наиболее близки по технологич. схеме к классич. способам печати способы с электрич. переносом краски с формы на воспринимающую поверхность (1-я группа). Здесь форма также — носитель краски, и печатная продукция получается в результате переноса краски с формы. Во 2-й группе способов Э. форма уже не является носителем краски, а управляет распределением краски на воспринимающей поверхности, и печатная продукция получается непосредств. нанесением краски на воспринимающую поверхность или воздействием на спец. бумагу.

1-я группа Э. может быть осуществлена в контактном или бесконтактном варианте (рис. 1, строка 3). К контактным относятся способы, в к-рых бумага (в нек-рых случаях — с натяжением) накладывается на красочный слой, нанесенный на форму. Затем бумаге сообщается электрич. заряд и через нее и краску в направлении к форме пропускается пост. ток. Бесконтактные способы печати предполагают или полное отсутствие контакта

красочного слоя с воспринимающей поверхностью или только касание с поверхностью краски, нанесенной на форму.

Во 2-ю группу входят проявляющая и электрозаписывающая печать (рис. 1, строка 3). При проявляющей Э. краска непосредственно наносится на воспринимающую поверхность, находящуюся в электрич. поле или имеющую потенц. рельеф на своей поверхности. При электрозаписывающей печати оригинал считывается с помощью фотоголовки, а затем электрич. импульсы воздействуют на спец. бумагу.

На рис. 2, *а* приведена принципиальная схема печатного устройства контактной Э. (англ. патент). Электрический ток от источника тока *6* (электромашинного генератора) подается на печатный цилиндр *3* и проходит последовательно через покрытие печатного цилиндра из проводящей резины *7*, бумагу *5* и красочный слой на печатной форме *2*. Для придания бу-

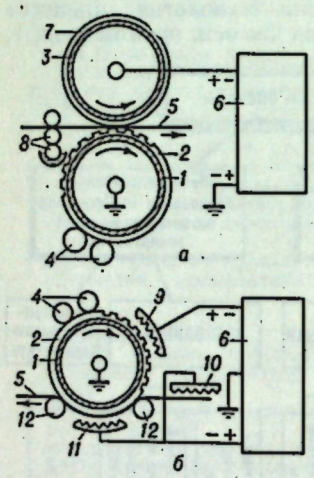


Рис. 2. Принципиальные схемы устройств контактной электрич. печати с форм классич. печати (*а*—с подачей тока в печатную зону через печатный цилиндр, покрытый проводящей резиной; *б* — с предварит. нанесением зарядов на краску и бумагу и нанесением зарядов в процессе печати): *1* — формный цилиндр; *4* — накатные валики красочного аппарата; *7* — покрытие из проводящей резины; *9* — коронирующий электрод для предварит. зарядки краски; *10* — коронирующий электрод для предварит. зарядки бумаги; *11* — коронирующий электрод для зарядки бумаги в процессе печати; *12* — направляющие валики.

маге достаточной электропроводности служит увлажняющее устройство *8*. Ток, проходя по красочному слою, вызывает электрофорез пигмента краски. Направление электрич. поля выбирается таким, чтобы пигмент под действием поля двигался к бумаге. Напряжение источника около 150 *в*, плотность тока 0,2—2 *а/см²*.

В Англии и США запатентованы устройства, подобные приведенному на рис. 2, *а*, но без увлажняющего аппарата. При этом напряжение источника тока (высоковольтного кенотрона или ПП выпрямителя) достигает 5—10 *кв*, а плотность тока 1—5 *мка/см²*. В последнем случае бумага заряжается, и между бумагой и формой возникает электрич. притяжение, к-рое вдавливает бумагу в слой краски. Имеет место также электрофорез пигмента краски, в результате к-рого на поверхности формы образуется слой, обедненный пигментом. Это способствует более легкому отрыву красочного слоя от формы. Кроме того, электрич. поле может уменьшить разность потенциалов в двойном слое, образованном между краской и формой, что уменьшает адгезию (прилипание) краски к форме. Установлено также, что краска впитывается в электрозаряженную бумагу лучше, чем в незаряженную. Важная особенность контактной Э. — отрыв краски от формы вместе с бумагой.

Описанные способы характеризуются узкой печатной зоной. Бумага проходит по касательной к формному и печатному цилиндрам. Но т. к. скорость электрофореза очень невелика, то подобные установки Э. могут работать только при сверхнизких скоростях печатания (0,1—2 *см/сек*).

Более перспективны способы контактной Э., в к-рых бумажная лента охватывает часть формы. Запатентовано (В. Хюбнер, США) неск. устройств, в к-рых бумага охватывает значит. часть формы (до половины). Схема одного из таких печатных устройств дана на рис. 2, *б*. Красочный слой, нанесенный на форму *2*, заряжается в поле коронного разряда, возникающего на зубчатом электроде *9*. Предварит. заряд бумаге *5* сообщается коронирующим зубчатым электродом *10*. В процессе печати заряд бумаги поддерживается коронирующим электродом *11*.

В 4-й строке рис. 1 даны виды печатных форм, к-рые могут применяться в Э. В классич. печати используют формы, печатающие элементы к-рых находятся выше пробельных (формы высокой печати), ниже пробельных (формы глубокой печати) и формы плоской печати, где печатающие и пробельные элементы расположены на одном уровне, но различно воспринимают краску, а также формы трафаретной (сквозной) печати, где печатающие элементы пропускают краску к бумаге, а пробельные — нет.

Контактная Э. с форм высокой печати находится в стадии разработок опытных образцов машин, с форм глубокой, плоской и трафаретной печати — в стадии предложений. Формы высокой, глубокой и трафаретной Э., так же как и в классич. печати, могут изготовляться из проводящих или полупроводящих материалов. Формы плоской Э. могут быть составными: печатающие элементы из проводящего материала, пробельные — из диэлектрика.

Фотополупроводниковые и фотоэлектретные формы изготовляются способами, заимствованными из *электрофотографии*. Для получения фотополупроводниковой формы применяется тонкий слой селена (10—50 *мк*), нанесенный на металлич. подложку. Селеновый слой заряжают в темноте положит. зарядом в поле коронного разряда. Затем изображение оригинала проецируют на поверхность селена с помощью источника света и оптич. системы или контактным способом. В освещенных местах заряд поверхности частично или полностью стекает (в нек-рых пределах пропорционально количеству упавшего на данное место света), в неосвещенных местах заряд сохраняется. Образуется потенц. рельеф, причем высокие потенциалы этого рельефа соответствуют печатающим элементам, а низкие — пробельным. Печатающие элементы благодаря своему высокому потенциалу способны удерживать краску. Нанесение краски на печатающие элементы наз. проявлением. Проявление потенц. рельефа, так же как и в электрофотографии, производится с помощью противоположно заряженного аэрозоля, каскадным способом или способом магнитной кисти. При этом краситель оседает на заряженных печатающих элементах.

С проявленной формы печать осуществляется способом, подобным приведенному на рис. 2, *б*. Бумага, накладываемая на форму

с красителем, заряжается в поле коронного разряда зарядом, обратным заряду проявителя. Краситель прилипает к бумаге и вместе с бумагой отрывается от формы. Ввиду того, что электрич. силы недостаточны для долговременного удержания красителя на бумаге, изображение закрепляется путем прогревания бумаги с красителем. Т. к. красители для электрич. печати на фотополупроводниках обычно изготовляются на основе синтетич. или естеств. смол с добавлением пигмента и подцветки, то нагревание вплавляет краситель в поры бумаги. Существуют также способы закрепления парами органич. растворителей и нанесением тонкого лакового покрытия. Контактная Э. с фотополупроводниковых форм применяется для малых и сверхмалых тиражей. Существуют устройства, в к-рых для получения электрич. рельефа используются плоские пластины, покрытые слоем селена (аппараты «Ксерокс» № 1, 4 и 1218 англ. фирмы «Рэнк Ксерокс» и аппарат ЭРА-1, СССР). Устройства с плоской пластиной малопроизводительны и позволяют получать отдельные копии и тиражи в неск. десятков экземпляров.

Для быстрого размножения оригиналов за рубежом выпускаются ротационные аппараты с селеновым слоем на металлич. барабане. Один из наиболее распространенных типов — машины «Копифло» (рис. 3), выпускаемые англ. фирмой «Рэнк Ксерокс» и амер. фирмой «Халойд К°». Селеновый слой, нанесенный на барабан *1*, заряжается в поле коронного разряда от системы параллельных проводов *2*. Изображение с фотопленки *4* проецируется объективом *7* (*5* и *6* — конденсатор и лампа проектора) на поверхность селенового слоя. При репродуцировании непрозрачных оригиналов оригинал укладывается на стол *11*, освещается лампой *18* и с помощью зеркал *8*, *9* и объектива *10* проецируется на селеновый слой барабана *1*. Полученный при экспонировании рельеф проявляется в камере *3* каскадным способом. Краситель переходит на бумагу *15* (сматываемую с рулона *16*) контактно-электрич. способом в поле коронного разряда от устройства *13*. Щетка *14* очищает барабан от остатков проявителя. В камере *12* порошковое изображение закрепляется, а отпечатанный материал поступает на приемный рулон *17*. Аппараты «Копифло» дают до 130 *м²* копий в час.

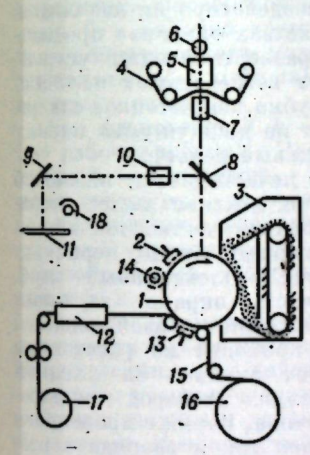


Рис. 3. Принципиальная схема универс. модели машины «Копифло».

С помощью селенового барабана можно осуществить наборно-печатающее устройство с экрана *характрона*. В нем знаки с экрана проецируются на селеновый барабан машин «Копифло». Подобные машины выпускаются фирмами «Штромберг—Карлсон» и «Халойд К°» под назв. «Модель 5000» и применяются для регистрации выходных данных ЭВМ.

Потенц. рельеф можно получить и на фотоэлектретах — диэлектриках, приобретающих пост. электрич. момент при совместном действии электрич. поля и света. Фотоэлектреты применяются в электрофотографии, но в печатающих устройствах практич. применения еще не получили.

Ферромагнитные формы представляют собой «магнитный рельеф», нанесенный на ферромагнитную пленку. Оригинал и ферромагнитная пленка укрепляются на двух цилиндрах, установленных на общем валу. Процесс изготовления магнитной формы состоит из считывания оригинала фотоэлектрич. головкой и воздействия усиленных фототоков на магнитную записывающую головку, к-рая, в свою очередь, создает магнитный рельеф на пленке. Проявляется изображение порошком, содержащим наряду со связующим и пигментом ферромагнитное вещество. Изображение переносится на бумагу контактноэлектрич. способом.

Бесконтактные способы Э. отличаются тем, что воспринимающая поверхность не имеет контакта с красочным слоем или контакт с поверхностью красочного слоя носит характер прикосновения при полном отсутствии к.-л. давления. На рис. 4, *а* показан способ бесконтактной печати с формы глубокой печати *2* на бумажную ленту *5*, натянутую на печатный цилиндр *3*, к-рый соединен с источ-

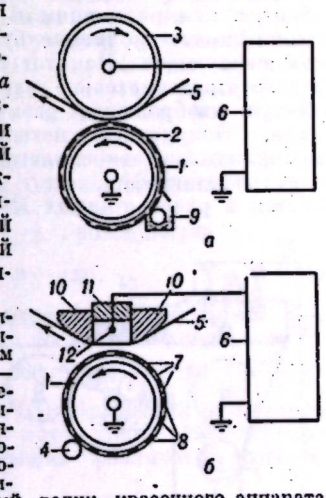


Рис. 4. Принципиальные схемы бесконтактной печати с форм классич. печати (*а* — с подачей напряжения на печатный цилиндр; *б* — с зарядом бумаги коронирующим электродом): *1*—формный цилиндр; *4* — накатный валик красочного аппарата; *7* — пробельные элементы составной формы (диэлектрик); *8* — печатающие элементы составной формы (проводник); *9* — красочный аппарат глубокой печати; *11* — изолятор коронирующего электрода.

ником тока *6*. Электрич. поле, под действием к-рого краска переходит с формы на бумагу, образуется между формным и печатным цилиндрами. Электрич. поле может быть создано и между электрически заряж. бумагой и формой (рис. 4, *б*). Бумага *5* заряжается коронирующим электродом *12* (напр., в виде тонкого провода, лезвия, зубчатого электрода и т. д.) и проходит над формой на фиксированном расстоянии, что обеспечивается натяжением бумаги на изоляторы *10*. В качестве источника электрич. заряда для заряжения бумаги могут быть использованы также и накаленная проволока и радиоактивные вещества. На рис. 4, *а* и *б* показаны печатные устройства с формами глубокой печати и составными формами плоской печати. Однако для бесконтактной Э. могут применяться те же формы, что и для контактной. Во всех способах бесконтактной печати краска переносится на бумагу пондеромоторными силами электрич. поля, действующего на свободные и связанные заряды

краски. Бесконтактные способы Э. находятся в стадии патентных разработок.

Формы высокой печати, составные формы плоской печати, фотополупроводниковые и фотоэлектретные формы могут быть использованы как управляющие контактные формы Э. (рис. 1, строка 4). В этом случае краска непосредственно на форму не наносится, а на форму накладывается бумага. Краска в виде гидрозоли или аэрозоли, имеющей заряд, противоположный заряду формы, притягивается к заряж. участкам формы и оседает при этом на бумаге. Гидрозоли закрепляются при впитывании или высыхании, аэрозоли — за счет вплавления. Описанные выше способы с управляющей контактной формой находятся в стадии патентных разработок. К способам с управляющей формой следует отнести и печать ворсом (о принципах нанесения ворса см. *Электроворсование*).

Потенциальный рельеф может быть непосредственно создан и на воспринимающей поверхности. Наиболее распространен способ, при к-ром электрич. рельеф наносится на электрофотографич. бумагу, представляющую собой обычную бумагу, одна сторона к-рой покрыта фотополупроводниковым светочувствит. слоем, состоящим из диспергированной окиси цинка в поливинилбутирале или в другом связующем. На этот слой, поверхность к-рого предварительно заряжается, проецируется изображение размножаемого оригинала. Полученный потенциальный рельеф проявляется и закрепляется так же, как и в электрофотографии. Этот принцип используется в разработанных НИИ электрографии

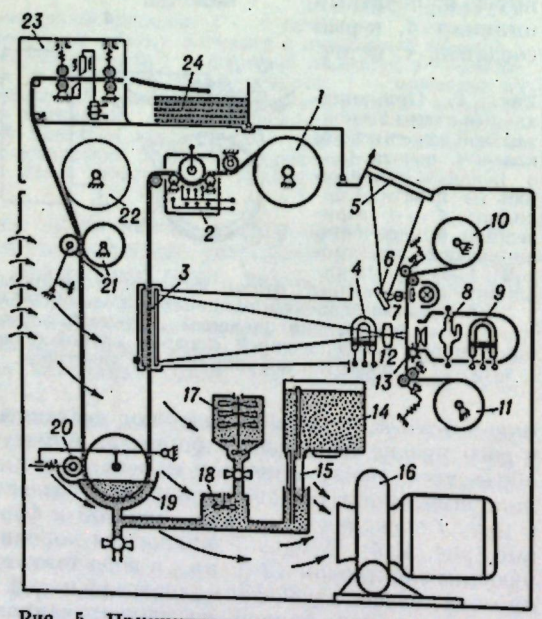


Рис. 5. Принципиальная схема электрофотографич. множительного аппарата ЭМА-2: *5* — просмотровый экран; *6* — зеркало; *7* — объектив просмотра; *10* — бобина намотки микрофильма; *11* — бобина размотки микрофильма; *12* — проекционный объектив; *13* — звездочка с контактным устройством; *14* — бачок с проявляющим составом; *15* — устройство для поддержания уровня проявителя; *17* — контейнер с краской; *18* — смеситель; *20* — отжимное устройство; *21* — ведущие валики.

(г. Вильнюс) аппаратах ЭМА-1А и ЭМА-2 (рис. 5). Аппарат ЭМА-2 рассчитан на копирование с микрофильмов с покадровой и щелевой съемкой и контактное копирование. Электрофотографич. бумага с рулона *1* проходит через зарядное устройство *2* и поступает в зону экспонирования. При контактном копировании оригинал *3* освещается осветителем *4*, при проекционном — осветителями *8* или *9*. Экспонированная бумага поступает в ванну *19* с проявителем. Ток воздуха, засасываемый вентилятором *16*, обеспечивает сушку отпечатанного материала. Последний при копировании микрофильмов с щелевой проекцией наматывается на приемный барабан 22 (при покадровой съемке или контактной печати) с помощью резального аппарата выкладывается на приемный стапель.

Осуществлены способы контактной передачи изображения с экрана ЭЛТ на фотополупроводниковую бумагу. При этом трубка имеет тонкий слюдяной или стеклянный экран в виде узкой полосы. В т. н. фотронном репродукторе, получившем нек-рое распространение в США, потенц. рельеф с селенового слоя переносится на диэлектрич. пленку в электрическом поле. Пленка проявляется предварительно заряж. порошком с последующим вплавлением.

Более прогрессивны способы, в к-рых электронный луч образует потенциальный рельеф непосредственно на диэлектрич. пленке (рис. 1, строка 5), воздействуя на нее сквозь экран. В этих устройствах оригинал просматривается телевиз. развертывающим устройством. Видеосигналы воздействуют на ЭЛТ. Электронный луч трубки через тонкое слюдяное окошко попадает на движущуюся пленку и образует потенциальный рельеф.

Более устойчивую печать дает т. н. способ индукционного штыря. Активная часть экрана содержит большое количество тончайших проволок, пронизывающих экран перпендикулярно поверхности. Электронный луч, обегая активную часть экрана, заряжает проволоки в соответствии с изображением оригинала. Пленка проходит на расстоянии примерно 0,1 *мм* от экрана. За пленкой располагается металлич. электрод, подключенный к источнику тока. Заряд с проволочек на пленку переносится током разряда в воздушном промежутке. Потенциальный рельеф проявляется электрозаряж. порошком с последующим вплавлением.

Установки электрозаписывающей печати состоят из считывающей оригинал фотоголовки, усилителя импульсов, исполнит. головки и синхронизирующего устройства считывающей и исполнит. головки. Роль формы в этих способах печати играет сам оригинал (см. рис. 1).

В зависимости от характера воздействия исполнит. головки на воспринимающую поверхность различают электроэрозионные и электрохимические способы Э. Практич. применение получила только электроэрозионная печать. Установка состоит из двух цилиндров, закрепленных на общем валу. Запись ведется на проводящую бумагу, на к-рую наносят сухой диэлектрич. красочный слой, причем цвет подложки и красочного слоя различен. На одном из цилиндров крепится оригинал, на другом — воспринимающая поверхность с красочным слоем. При вращении цилиндров оригинал считывается фотоголовкой. Усиленные фототоки поступают на направленные перпендикулярно поверхности бумаги волфрамовый игольчатый электрод исполнит. головки. Игольчатый электрод своим острием периодически приближается к красочному слою, и в момент макс. приближения происходит искровой разряд, вызывающий электрич. эрозию красочного слоя. При этом обнажается подложка.

Потребность в увеличении скорости передачи информации поставила перед Э. задачу «печати на расстоянии» газет и нек-рых др. материалов. Эта задача может быть решена передачей по радио отпечатанных листов или передачей электрич. набора, напр. с помощью ЭЛТ с последующим изготовлением печатных форм и отпечаткой тиража на местах.

Лит.: Александрова М. И., Шапиро И. Н., Печатные и брошюровочно-переплетные процессы, М., 1964 (Технология полиграфического производства, кн. 2); Немировский Е. Л., Новые способы печати, М., 1956; Вопросы полиграфии за рубежом. [Сб. ст., пер. с япон.], М., 1955; Электрофотография и магнитография, Вильнюс, 1959 (имеется библ.); Вопросы электрографии. Сб. переводов из иностр. периодич. лит-ры, М., 1960; Жилевич И. И., Немировский Е. Л., Электрофотография, М., 1961.

И. И. Балог.

ЭЛЕКТРОПРИВОД АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ (automatic electric drive; entraînement électromécanique automatisé; automatisierter Elektroantrieb) — машинное устройство, преобразующее электрич. энергию в механическую и обеспечивающее автоматич. управление преобразованной механич. энергией. Э. а. обычно состоит из электродвигателя, передаточного механизма, аппаратуры управления и иногда также преобразователя электрич. энергии.

Осн. назначение Э. а.— приводить в движение рабочие машины. Преимущества электропривода — дробимость, регулирование скорости вращения, торможение (в том числе с рекуперацией энергии), экономичность, удобство управления, надежность, простота, разнообразность конструктивных исполнений и т. п.

Системы автоматического управления (САУ) электроприводами являются электрическими устройствами, выполняющими без непосредственного участия человека заданные режимы работы в статике и динамике, согласно с требованиями производственных процессов.

Функции Э. а.: автоматический пуск, останов, реверсирование электродвигателя; поддержание с высокой точностью в статике и динамике заданной величины (скорости, тока, вращающего момента и др.); наблюдение за вводимыми в систему наперед не заданными сигналами и отработка их с заданной точностью; выполнение работ по неизменной или меняющейся программе; осуществление с помощью управляющих машин самонастройки, согласно с алгоритмом или заданной сводкой логич. и математич. операций, приводящих к переработке входной информации в сигналы управления (экспериментальные, самообучающиеся и др. системы, работающие по принципам технич. кибернетики); управление установками с комплексной автоматизацией технологич. процессов, в к-рые могут входить все типы перечисленных систем автоматич. управления электроприводом и содержать спец. управляющие машины с заложенными в них алгоритмами, решающими технич. и организац. задачи всей установки комплексной автоматизации.

САУ электроприводами, являющиеся самым распростран. типом производств. систем автоматич. управления, состоят из преобразователей электроэнергии, усилителей, измерит. и вычислит. устройств, управляющих машин и электродвигателей с релейно-контакторной аппаратурой, бесконтактными и логич. элементами, измерит. приборами и датчиками. В электрогидравлич. САУ в качестве выходного двигателя используется гидромуфта или гидроцилиндр. САУ могут управлять одновременно электрич., газотурбинными, пневматич. и дизельными приводами.

Теория Э. а. составляет самостоятельную дисциплину прикладной электротехники, синтезирующую разделы теоретич. механики, электротехники, промышл. электроники, автоматики и др.

Лит.: Голован А. Т., Основы электропривода, М.—Л., 1959; Андреев В. П., Сабинин Ю. А., Основы электропривода, 2 изд., М.—Л., 1963; Чиликин М. Г., Общий курс электропривода, 3 изд., М.—Л., 1960; Сиротин А. А., Автоматическое управление электроприводами, М.—Л., 1959.

А. А. Сиротин, М. Г. Чиликин.

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ полупроводников (electrical conductance; conductivité éléctrique; elektrische Leitfähigkeit) — свойство ПП проводить электрич. ток при воздействиях электрич. поля, светового потока и др. внешних факторов. Э. *полупроводника* сильно изменяется под действием темп-ры, облучения, давления и т. п. Кроме того, Э. ПП управляется введением акцепторных или донорных примесей, и это определило их важнейшие тех. применения.

Э. ПП характеризуется уд. проводимостью $\sigma (ом^{-1} \cdot см^{-1})$ [или обратной величиной — уд. сопротивлением ρ $(ом \cdot см)$].

В общем случае уд. проводимость

$$\sigma = qn\mu, \qquad (1)$$

где q — заряд электрона, равный $1{,}6 \cdot 10^{-19} к$, n — концентрация носителей заряда $(см^{-3})$, μ — подвижность носителей заряда $\left(\frac{см^2}{в \cdot сек}\right)$.

Электрич. ток в ПП обусловлен движением носителей заряда двух типов — электронов и дырок, обладающих различной подвижностью.

В химически чистом ПП, энергетич. диаграмма к-рого дана на рис. 1, Э. осуществлена движением электронов и дырок собственных атомов ПП, возбужденных внешним

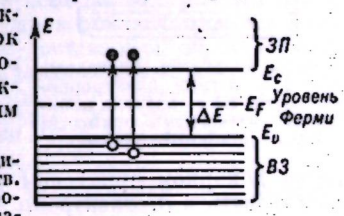


Рис. 1. Энергетич. диаграмма для собств. ПП: *ЗП* — зона проводимости; *ВЗ* — валентная зона; E_c — нижний край зоны проводимости; E_v — верхний край валентной зоны; E — энергия; ΔE — ширина запрещ. зоны.

воздействием. Э. такого ПП наз. собственной. В этом случае уд. проводимость

$$\sigma_i = q\,(n_i\mu_n + p_i\mu_p), \qquad (2)$$

где n_i и p_i — концентрация электронов и дырок; μ_n и μ_p — подвижности электронов и дырок.

Т. к. в каждом единичном акте возбуждения рождается пара электрон-дырка, то в *полупроводнике собственном* $n_i = p_i$ и

$$\sigma_i = qn_i\,(\mu_n + \mu_p). \qquad (3)$$

Концентрация носителей заряда в собственном ПП

$$n_i = \frac{2\left(2\pi\sqrt{m_n^* m_p^*}\,kT\right)^{3/2}}{h^3}\exp(-\Delta E/2kT), \quad (4)$$

где m_n^* и m_p^* — эффективные массы электрона и дырки; h — постоянная Планка; k — постоянная Больцмана; T — абс. темп-ра.

Величина n_i для Ge равна $2{,}5\cdot10^{13}$ $см^{-3}$, для Si — $1{,}2\cdot10^{10}$ $см^{-3}$, при темп-ре 300° К.

Примесная Э. ПП обусловлена электронами или дырками при наличии в нем атомов примесей. Если основными носителями заряда в ПП служат электроны, а неосновными — дырки, то такой ПП наз. ПП n-типа Э. (negative), если же основными носителями заряда служат дырки, а неосновными — электроны, то — ПП p-типа Э. (positive). Большинство реальных ПП обладают примесной Э.

Для получения Э. n-типа в ПП вводятся донорные примеси, обычно хим. элементы, валентность к-рых на единицу выше валентности основного ПП. Напр., для *германия* и *кремния*, элементов 4-й группы периодич. системы, используют элементы 5-й группы: As, Sb, P. Для *полупроводниковых соединений* типа $A^{III}B^{V}$ (GaAs, InSb и др.) донорами служат Te, Se, S — элементы 6-й группы. Механизм образования Э. n-типа в германии состоит в следующем. Атом примеси, напр. сурьмы, имеет 5 валентных электронов. Когда он замещает в кристаллич. решетке к.-л. атом германия, то 4 электрона сурьмы образуют валентные связи с четырьмя соседними атомами германия, а 5-й электрон оказывается «лишним». Его связь с ядром в результате большой диэлектрич. проницаемости германия ($\varepsilon = 16$) оказывается сильно ослабленной. Средняя энергия ионизации такого атома составляет около 0,01 *эв*. Это означает, что уже при комнатной темп-ре, к-рая соответствует энергии 0,025 *эв*, все атомы донорных примесей окажутся ионизированными. Освободившиеся электроны могут перемещаться по кристаллу и участвовать в Э. Энергетич. диаграмма, соответствующая этому процессу, приведена на рис. 2. Электроны, находящиеся на донорном примесном уровне, не могут участвовать в Э. Электроны же, переведенные теплом, светом и т. п. в зону проводимости, участвуют в переносе заряда.

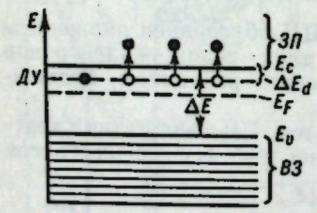


Рис. 2. Энергетич. диаграмма для ПП n-типа электропроводности: ΔE_d—энергия ионизации донорных примесей; ДУ — донорный уровень.

Концентрация электронов в зоне проводимости

$$n = N_c \exp[-(E_c - E_F)/kT], \quad (5)$$

где N_c — эффективная плотность состояний в зоне проводимости.

Концентрация дырок в ПП n-типа

$$p = N_v \exp[-(E_F - E_v)/kT], \quad (6)$$

где N_v — эффективная плотность состояний в валентной зоне.

Для получения Э. p-типа вводятся акцепторные примеси. Их валентность, как правило, на единицу меньше валентности основного ПП. Для Ge и Si это элементы 3-й группы периодической системы: B, In, Ga, Al. Для ПП соединений типа $A^{III}B^{V}$ акцепторными примесями служат элементы II группы Mg, Zn и др. При введении в Ge, напр., In происходит замещение некрых атомов Ge атомами In. Последние имеют только 3 валентных электрона и в кристаллич. решетке оказываются завершенными только 3 валентные связи из четырех. Незавершенная связь может быть заполнена за счет соседней связи. Она может перемещаться в кристалле в результате последоват. заполнений. Т. о., незаполненная валентная связь эквивалентна дырке, т. е. избыточному положит. заряду. В этом случае количество свободных дырок будет превышать количество свободных электронов. Энергия ионизации акцепторных примесей в Ge также равна прибл. 0,01 *эв*. Энергетич. диаграмма ПП p-типа приведена на рис. 3. Как для ПП n-типа, так и для ПП p-типа в условиях термодинамического равновесия при заданной темп-ре произведение концентраций электронов и дырок постоянно:

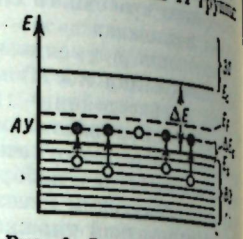


Рис. 3. Энергетич. диаграмма для ПП p-типа электропроводности: ΔE_a — энергия ионизации акцепторных примесей; АУ — акцепторный уровень.

$$np = n_i^2. \quad (7)$$

Э. ПП n-типа

$$\sigma_n = qn\mu_n. \quad (8)$$

Для ПП p-типа

$$\sigma_p = qp\mu_p. \quad (9)$$

На рис. 4 и 5 приведены графики зависимости уд. сопротивления германия n- и p-типа от темп-ры. В качестве параметра указано значение уд. сопротивлений при комнатной темп-ре. Из данных, приведенных на этих рис., видно, что с увеличением концентрации примесей (с уменьшением сопротивления) изменение сопротивления с темп-рой уменьшается. Область резкого изменения уд. сопротивления сдвигается в сторону более высоких темп-р.

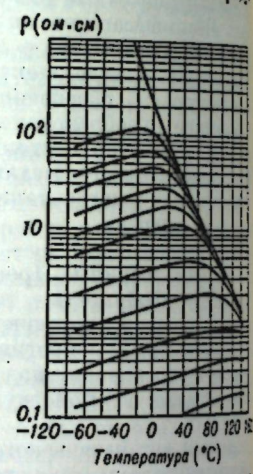


Рис. 4. График температурной зависимости уд. сопротивления германия n-типа электропроводности.

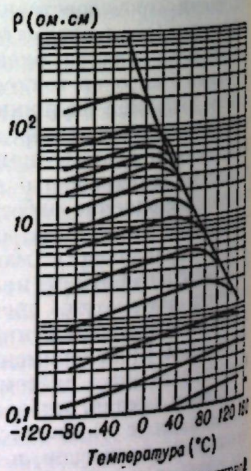


Рис. 5. График температурной зависимости уд. сопротивления германия p-типа электропроводности.

А. Ф. Трутко.

ЭЛЕКТРОПРЯДЕНИЕ (electrical spinning; eléctrofilature; elektrisches Spinnen) — выработка с помощью электростатич. полей из относительно коротких натуральных волокон непрерывной нити — пряжи, предназначенной для произ-ва текстильных изделий. В узком смысле Э. называют последний этап прядильного произ-ва — выработку пряжи на прядильных машинах с помощью электростатич. поля. Н.-и. работы по применению электростатич. полей для формирования пряжи ведутся в различных отраслях текстильной пром-сти: хлопчатобумажной, шерстяной, льняной и шелковой. Более реальные успехи достигнуты в хлопчатобумажной пром-сти.

На хлопкопрядильных фабриках пряжа обычно вырабатывается из хлопка посредством ряда механич. операций, в результате к-рых происходит постепенная очистка, параллелизация, распрямление, сложение, вытягивание и скручивание волокон. Из кип хлопка получают сначала холст, потом чесальную ленту, ленту с ленточной машины, затем ровницу и наконец пряжу, что требует большого количества громоздкого сложного оборудования и больших производственных площадей.

Используя физ. св-ва электростатич. поля и хлопкового волокна, можно получать пряжу более быстрым и прямым способом, избежав ряд технологич. переходов, что сократит производств. площади, время и стоимость процесса.

Натуральные текстильные волокна — диэлектрики, и в электростатич. поле (рис. 1) они поляризуются; возникающие при этом пондеромоторные силы f_1 и f_2 располагают волокна по силовым линиям поля. Эти же силы производят растяжение и распрямление волокон. При однородном поле силы f_1 и f_2 равны по величине, и они только ориентируют и растягивают волокна. При неоднородном поле вследствие неравенства сил f_1 и f_2 происходит и передвижение волокон в направлении возрастания напряженности поля E. Для полезного использования указанного эффекта необходимо, чтобы напряженность поля возрастала в направлении линии технологич. процесса.

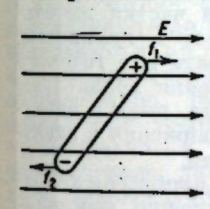


Рис. 1. Схема ориентации волокна хлопка в электростатич. поле.

Волокна могут транспортироваться электрич. силами и в однородном поле, если они при поступлении в рабочий промежуток машины несут на себе избыточный электрич. заряд, сообщаемый волокнам с помощью коронного разряда или радиоактивных излучений. Направление движения волокон определяется направлением силовых линий поля и знаком избыточного заряда волокон. Если механически разделить массу хлопка на отдельные волокна и подавать их во взвешенном состоянии в электростатич. поле определ. силы и формы, то можно ориентировать, растягивать и собирать волокна в мычку (пучок или узкая ленточка, состоящие из параллелизованных и частично распрямленных волокон), после чего скручивать их в пряжу.

Т. о., кроме чисто механич. операций разъединения (расчесывания) массы хлопка на отдельные волокна и скручивания их в пряжу, все др. операции прядения могут быть выполнены силами электростатич. поля.

Большой интерес к проблеме Э. объясняется тем экономич. эффектом, к-рый может дать ее положит. решение. Получение пряжи с помощью электростатич. полей из чесальной ленты может более чем в 3 раза повысить производительность труда и оборудования и позволит примерно в 2,5 раза сократить производств. площади.

Процесс Э. разрабатывается в США, Китае, Франции и др. странах. На рис. 2 приведена

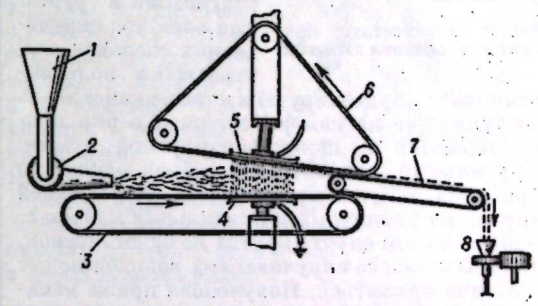


Рис. 2. Установка Кеннеди для электропрядения.

установка, изобретенная Э. Кеннеди (США) в 1949. Масса волокон из бункера *1* подается в вентилятор *2*, где она в воздушном потоке разделяется на отдельные волокна. Волокна, оседая на ленту транспортера *3*, изготовленную из непроводника, направляются в электростатич. поле, образуемое между двумя плоскими электродами *4* и *5*. Нижний электрод заземлен, к верхнему подается отрицат. напряжение. Напряженность поля $E = 2{,}5$—4 *кв/см*. Под действием сил электростатич. поля, перпендикулярных поверхности электродов, волокна по мере их перемещения лентой транспортера ориентируются в вертикальном положении на поверхности транспортера *6*, изготовленного также из непроводника. Относит. скорость транспортеров *3* и *6* можно менять: так если транспортер *6* имеет меньшую скорость, чем транспортер *3*, то обеспечивается нужное уплотнение волокон. Ориентированные полем волокна укладываются в эшелонированном порядке на транспортер *7*, изготовленный из проводника, благодаря чему электрич. заряды, оставшиеся на волокнах, снимаются. Параллелизованные полем волокна в виде непрерывной структуры поступают в уплотнит. воронку *8*, где подвергаются ложной крутке [временная крутка, сообщаемая полупродукту (ленте, ровнице) для его уплотнения и придания необходимой прочности].

Описанное устройство позволяет приготовлять ленту из различных натуральных и искусств. волокон. При его использовании отпадает необходимость в трепании, чесании и др. механич. операциях, благодаря чему длина и прочность волокон в ленте сохраняются. Лента, получаемая указанным способом, может затем подвергаться вытягиванию и скручиванию известными методами для выработки пряжи.

На рис. 3 показана схема электростатич. прядильной машины, предложенной С. Оглесби (США). Волокна во взвешенном состоянии вводятся в камеру *1*; у ее верхнего конца установлены два электрода, к к-рым подведено

высокое напряжение. Электрод *2* представляет собой трубку, а электрод *3* помещается на оси трубчатого электрода на расстоянии от него большем, чем длина волокна. В процессе работы пряжа непрерывно проходит через крутильный элемент *4*, к-рый вращается вокруг продолжения оси трубчатого электрода. По мере втягивания в трубчатый электрод скручиваемых волокон электростатич. поле выравнивает (ориентирует) и присоединяет вновь поступившие из камеры волокна, к-рые прикручиваются к концу формируемой пряжи. Крутильный элемент может быть одним из приборов, обычно применяемых для ложной крутки на ровничных и прядильных машинах. Однако в этом случае крутка не будет ложной, поскольку масса скручиваемых волокон может свободно вращаться. Полученная пряжа наматывается на катушку.

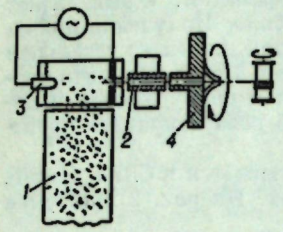


Рис. 3. Электростатич. прядильная машина Оглесби.

На рис. 4 дана схема электростатич. прядильной машины, предложенной Центр. н.-и. ин-том хлопчатобумажной пром-сти (СССР). Со столика *1* чесальная лента подается питающим цилиндром *2* к расчесывающему барабанчику *3*, вращающемуся с большой скоростью. Барабанчик заключен в улиткообразный кожух *4*, направленный выходным отверстием вверх. Благодаря быстрому вращению барабанчика лента разделяется гарнитурой барабанчика на отдельные волокна, к-рые во взвешенном состоянии направляются воздушным потоком из кожуха *4* в электростатич. поле высокого напряжения, образованное между двумя электродами. Левый электрод *5* неподвижен, правый *7* вращается и представляет собой крутильный механизм, выполненный в виде полой трубки *6* с расположенным внутри нее подпружиненным шариком *8*. В электростатич. поле волокна ориентируются, распрямляются, и концы их перед входом *9* в крутильный механизм собираются в мычку и присучиваются к концу пряжи, находящемуся в крутильном механизме. Конец мычки зажимается шариком *8*, а конец пряжи — на барабане мотального механизма, поэтому при вращении электрода *7* волокна скручиваются в пряжу, к-рая наматывается на шпулю или патрон.

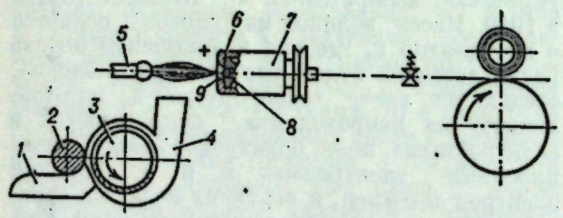


Рис. 4. Электростатич. прядильная машина Центр. н.-и. ин-та хлопчатобумажной пром-сти.

Описанный способ Э. выгодно отличается от других тем, что процессы кручения и наматывания разделены, а отсутствие кольца и бегунка (деталей, применяемых на обычных кольцепрядильных машинах) в неск. раз повышает скорость выпуска пряжи.

Способ формирования пряжи с помощью электростатич. поля позволяет сократить ряд переходов существующего технологич. процесса. Напр., при выработке пряжи из чесальной ленты отпадает необходимость в лентосоединительных, ленточных и ровничных машинах. Кроме того, возможность получения больших паковок в прядении устраняет необходимость перемотки пряжи на мотальных машинах.

Применение электростатич. полей на обычных кольцепрядильных машинах позволяет уплотнять мычку в вытяжных приборах, что благоприятно сказывается на процессе прядения, а также позволяет вырабатывать фасонную пряжу.

Лит.: Балясов П. Д., Использование статических электрических зарядов и электромагнитных полей при вытягивании волокнистых материалов, «Текстильная промышленность», 1962, № 9; [Чубанов Г. В. (сост.)], Безверетенное и безбегунковое прядение и кручение, М., 1964; Cartling H., Methods of spinning other than by ring and traveller, «Text. Inst. and Ind.», 1963, v. 1, № 3, p. 12—15; Holtappels H., Elektrostatisch hergestelltes Flockgarn — ein neues Textilmaterial, «Z. ges. Textilind.», 1961, Jg. 63, H. 6, S. 459; Oglesby S., Continuous yarn making, «Text. Inds», 1956, v. 120, № 3, p. 121; Oglesby S., Thomas A. L., Method and apparatus for collecting fibrous material and forming it into a strand. United States Patent Office № 2711626, 1955; Kennedy S., Wedler T. C., Electrostatic control of fibers. United States Patent Office № 2468827, 1949; «L'Industrie Textile», 1961, № 913, p. 449.

В. П. Радощицкий.

ЭЛЕКТРОСЕПАРАЦИЯ (electrical separation; eléctro-séparation; elektrische Filterung) — включает процессы электрообогащения, электроклассификации и электрообеспыливания, применяемые для разделения частиц измельченных материалов по составу и крупности, с целью получения концентрата или готового продукта; для их осуществления используют силы взаимодействия электрич. поля и электрич. зарядов и особенности движения в электрич. поле заряженных частиц.

Э., являющаяся одним из процессов *электронно-ионной технологии*, успешно применяется как самостоятельно, так и в комбинации с др. методами обогащения (магнитным, гравитационным, пневматическим). Она весьма перспективна для обогащения особо трудных железных руд (смешанных, обожженных окисленных и др.), низкосортных марганцевых продуктов, редкометального, керамического, стекольного и строит. сырья; асбестовых руд; металлических, органических и др. порошков; кварцевых песков для выплавки электрокорунда и др.; разнообразных промотходов, а также для очистки зерна, семян и пр.

При Э. выделение ценных компонентов полезных ископаемых происходит под действием электрич. поля на их заряж. частицы, различающиеся физ. св-вами (электропроводностью ρ, диэлектрич. проницаемостью ε, уд. весом γ и др.).

Для разделения в электрич. поле смеси сыпучих частиц необходимы высокая напряженность поля и предварит. зарядка сепарируемых частиц. Величина электрич. заряда, напряженность, форма и направление поля обусловливают по величине и направлению силы, действующие на частицы в электрич. поле.

В зависимости от характера электрич. поля и способов зарядки частиц, методы Э. и сепараторы для ее осуществления делятся на

электростатические, основанные на различии в электризации трением (трибоэффект), электризации нагреванием (пироэлектрич. эффект), диэлектрич. проницаемостях и в электропроводности разделяемых материалов; коронные, использующие ионизацию, электрич. ветер и др. явления, сопутствующие коронному разряду в газах, и комбинированные. Электростатич. сепараторы изобретены в 1904, а коронные — в 1936.

В электрич. поле частицы диэлектриков поляризуются, а частицы, обладающие св-вами проводников, индуцируются. Индукция проводников, как и поляризация диэлектриков, не сопровождается появлением сил (для частиц диаметром менее 0,01 *мм*, находящихся на расстоянии свыше 1 *мм* от электрода), достаточных для отклонения от вертикали падающих частиц, т. е. для их сепарации.

На заряж. частицы, находящиеся в неоднородном электрич. поле, кроме кулоновских сил, действуют также и пондеромоторные (градиентные) силы. Последние даже для частиц крупностью около 1 *мм* в сотни раз меньше кулоновских.

Сепарируемые материалы делятся на хорошо проводящие 10^6—10^8, полупроводящие 10—10^{-7} и плохо проводящие 10^{-7}—10^{-16} *1/ом·см*.

При сепарации, основанной на различии в электризации трением, разнородные тела вследствие трения заряжаются равными по величине, но различными по знаку зарядами. Знаки зарядов зависят от природы соприкасающихся тел, состояния их поверхности, способа трения (плотность контакта, число мест касания и др.), внешних условий (темп-ра, влажность и пр.). Одно и то же тело в различных случаях может электризоваться как положительно, так и отрицательно. Напр., металл при трении о стекло электризуется отрицательно, а при трении о каучук — положительно; диэлектрики при трении о металл электризуются обычно положительно, однако при окисленной поверхности металлов они могут электризоваться и отрицательно.

При трении диэлектриков положительно заряжается чаще всего тот из них, диэлектрич. проницаемость к-рого больше (правило Коэна). Величины трибозарядов отдельных частиц не превосходят 2% от зарядов, к-рые частицы могли бы получить в зоне коронного разряда. Если компоненты обрабатываемых материалов приобретают заряды различных знаков, то их можно разделять в трибоэлектростатич. сепараторах, напр. в показанных на рис. 1.

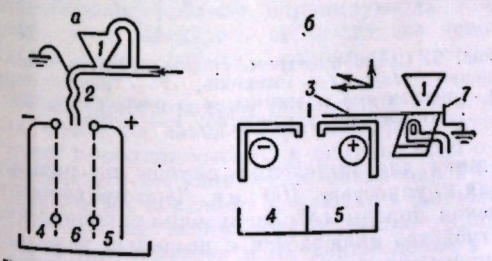


Рис. 1. Схемы трибоэлектростатич. сепараторов: *1* — бункер; *2* — трубка; *3* — лоток; *4—6* — приемники; *7* — вибратор.

Смесь пылевидных частиц (рис. 1, *а*) заряжается при продувании через трубку *2*, разделяется в электростатич. поле и распределяется между приемниками *4—6*. На зарядку компонентов смеси можно воздействовать подбором материала вибрирующих лотков (рис. 1, *б*).

На сепараторе, показанном на рис. 2, осуществлялись: в верхней секции — обеспыливание угля крупностью 0—1,5 *мм* (выделение фракции 0—0,2 *мм*); в средней — обогащение материала крупностью 0,2—0,5 *мм* (при этом породные частицы выводятся в жалюзи *5*) и в нижней — обогащение материала крупностью 0,5 — 1,5 *мм*.



Рис. 2. Схема трибоэлектростатич. сепаратора с дутьем: *1* — трубка; *2* и *3* — электроды; *4* — лотки; *5* — жалюзи; *6* и *7* — электроды; *8* и *9* — приемники.

Более эффективны трибоэлектростатич. сепараторы (рис. 3), в к-рых исходный материал, свободно падающий между электродами, подогревается (для усиления зарядки) до

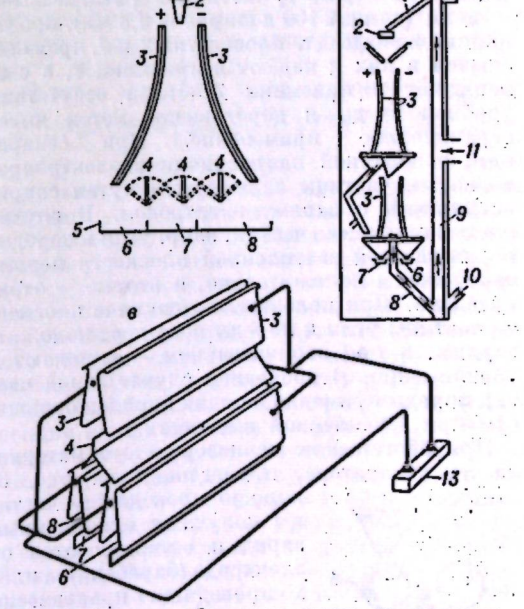


Рис. 3. Схемы трибоэлектростатич. сепараторов: *а* — односекционного и *б* — двухсекционного с сегментными трубчатыми электродами; *в* — трехсекционного с пластинчатыми электродами; *1* — лоток (с вибратором); *2* — питатель; *3* — электроды; *4* — делительные плоскости; *5—8* — приемники; *9* — элеватор; *10* — ввод подогретой руды; *11* — ввод газа; *12* — выхлопная труба; *13* — источник электропитания.

определ. темп-ры. Сепараторы этого типа применяются при обогащении калийных солей, фосфоритов, серных руд и др. Область

их использования ограничена, т. к. заряды различных знаков при трении получают лишь немногие минералы.

При сепарации, основанной на различии в электризации нагреванием (рис. 4), разные по знаку пироэлектрич. заряды возбуждаются на противоположных краях нек-рых кристаллич. диэлектриков (турмалин и др.). Метод этот из-за малой производительности и дороговизны распространения не получил.

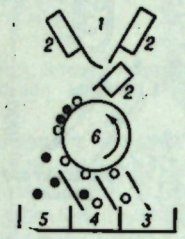


Рис. 4.

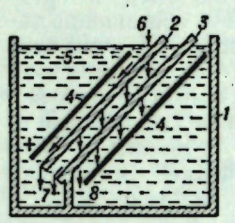


Рис. 5.

Рис. 4. Схема пироэлектрич. сепаратора: *1* — бункер; *2* — подогрев; *3—5* — приемники; *6* — барабан.

Рис. 5. Схема диэлектрич. щелевого сепаратора: *1* — камера; *2* — верхняя разделит. плоскость (из плексигласа); *3* — нижняя разделит. плоскость (из плексигласа); *4* — пластинчатые металлич. электроды; *5* — среда; *6*—место загрузки; *7* — приемник для хвостов; *8* — приемник для концентрата.

При сепарации, основанной на различии в диэлектрич. проницаемостях (рис. 5), минералы (с ε_1 и ε_2) крупностью не более 0;2 *мм* разделяются в непроводящей жидкости (с ε). Внутри суспензии создается неоднородное электрич. поле. При $\varepsilon_1 > \varepsilon > \varepsilon_2$ частицы с ε_1 втягиваются в щели (длиной 100 и шириной 0,3 *мм*), проделанные в разделит. плоскостях *2* и *3*, проваливаются в них и падают в приемник *8*, а с ε_2 попадают в приемник 7. Из-за отсутствия удобной среды и дороговизны метод имеет ограниченное применение. При сепарации, основанной на различии в электропроводности, частицы заряжаются путем соприкосновения с заряж. электродом. В случае скатывания смеси частиц, напр. угля и породы, по наклонной заземленной плоскости первые заряжаются положительно, а вторые — отрицательно. При положит. потенциале плоскости частицы угля и породы получают положит. заряды, а при отрицательном — заряжаются разноименно. В последнем случае заряд частиц породы примерно на один порядок больше, чем при заземленной плоскости.

При обогащении мелкозернистого материала на сепараторе, приведенном на рис. 6, хорошо проводящие частицы получают одноименный заряд и отталкиваются от электрода (барабана), а плохо проводящие практически

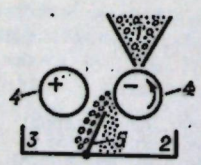


Рис. 6. Схема электростатич. барабанного сепаратора: *1* — бункер; *2* и *3* — приемники; *4* — барабан; *5* — делительная плоскость.

не заряжаются и не изменяют своего пути в сепараторе.

При обработке угольной мелочи крупностью 0,2—3 *мм* (зольность 18%, влажность 1%) на электростатич. сепараторе с вертикальными электродами (рис. 7) угольные частицы, ударяясь и касаясь с лотками, заряжаются положительно, падают вертикально и попадают в одни приемники, а породные — заряжаются отрицательно, отклоняются в электрич. поле и собираются в др. приемники.



Рис. 7. Сх... электростатич. ... сепаратора с в... тикальными ... тродами: *1* — б... кер; *2* — ... *3* — электр...

В случае обработки на электростатич. барабанном сепараторе с противостоящим плоским электродом (рис. 8) угольной мелочи (крупность 0,1—1 *мм*; зольность 8%; влажность до 1%) выделяются угольный концентрат (приемник *2*) и отходы (приемник *1*).

Осн. недостатки электростатич. сепаратора: быстрая засоряемость электродов пылью и ухудшение в связи с этим процесса зарядки частиц; непостоянство режима работы; необходимость узкой классификации и подсушки обрабатываемого материала (влажность не больше 1%); малая производительность из-за необходимости однослойного соприкосновения частиц с заряж. электродом. Применяются они для полу-

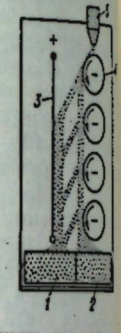


Рис. 8. Схема электростатич. барабанного сепаратора с противостоящим плоским электродом: *1* — приемник отходов; *2* — приемник концентр... *3* — плоский электрод; *4* — барабанный электр... *5* — бункер.

чения малозольных угольных концентратов, используемых в основном в электродной промышленности.

По иному сепарируются крупные материалы. В качестве примера на рис. 9 показа...

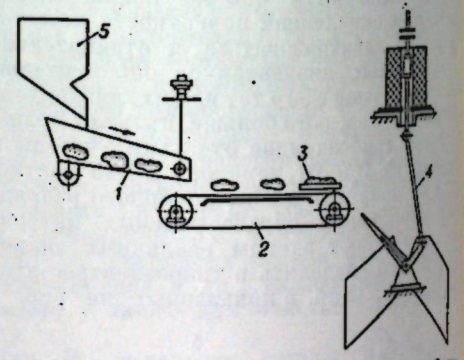


Рис. 9. Схема электрич. сепаратора для обогащения угля: *1* — питатель; *2* — транспортер; *3* — контактные пластины; *4* — разгрузочно-сортировочное устройство; *5* — бункер.

машина для выделения породы из рядового угля крупностью 100 *мм*. При прохождении кусков породы ее разгрузочно-сортировочное устройство включается с помощью реле, связанного с контактными пластинами. Для надежности работы машины средние сопротивления угля и породы должны различаться не менее чем на один порядок. На электропроводность разделяемых кусков угля и породы значительное влияние оказывают их влажность и запыленность, а также положение в зоне разделения, особенно при наличии сростков. Для указанных целей пригодны также фотоэлектрич. и рентгеновский сепараторы.

Фотоэлектрич. сепаратор основан на различии в отражении световых лучей поверхностями угля и породы. Куски угля, не вызывающие в фотоэлементе достаточного импульса, попадают с помощью разгрузочно-сортировочного устройства в один приемник, а куски породы, вызывающие его,— в другой. Для успешной работы такого сепаратора необходимо наличие значит. цветового контраста между углем и породой, а на поверхности не должны быть влага и пыль.

В рентгеновском сепараторе используются различия в интенсивности рентгеновских лучей (после прохождения их через куски угля или породы), преобразуемые в электрич. импульсы, приводящие в действие исполнит. механизмы соответствующего сепаратора. С помощью этого сепаратора можно отделять породу от угля даже при толщине кусков последнего в 6—8 раз меньшей кусков породы. При этом влажность, запыленность, форма и положение кусков угля и породы в облучаемой зоне особого значения не имеют. Небольшая инерционность сепаратора позволяет перемещать разделяемые куски угля и породы через зону облучения в 3—4 раза быстрее, чем на породоотборочных лентах, а также резко сократить интервалы между отдельными кусками. Обогащение крупных классов нуждается в специальной (очередно-штучной) системе питания.

Коронные сепараторы лишены недостатков, присущих электростатическим. При сепарации, основанной на применении *коронного разряда*, используются физ. явления, к-рые происходят в газах, находящихся под действием сильного электрич. поля, создаваемого между электродами. Заземляемые электроды выполняются из сплошных или перфорированных плоскостей, цилиндров и пр., а коронирующие — из тонких стержней, лент, проволок и т. п.

Коронирующие электроды присоединяют обычно к отрицат. полюсу источника тока, а заземленные — к положительному. В этом случае пробивное напряжение выше, чем при положит. короне. Ионы, передвигающиеся от коронирующего электрода к заземленному, заряжают все частицы, вводимые в межэлектродное пространство, в связи с чем последние тоже начинают двигаться к заземленному электроду; их поведение у заземленного электрода определяется особенностями сепараторов. Возникающий вблизи коронирующих электродов т. н. электрич. ветер так же используется при работе коронных сепараторов.

Неэлектропроводная заряженная пыль, оседая слоем на заземленном электроде, отталкивает приближающиеся к нему частицы с зарядами того же знака. При появлении в слое пыли *короны обратной* нарушается униполярность потока ионов, затрудняется зарядка частиц в сепараторе и их перемещение к заземленному электроду. Для борьбы с этим вредным явлением применяют сепараторы с комбинированными электродами, а в случае необходимости — и механич. встряхивание электродов.

При определ. концентрации, дисперсности и виде пыли может возникнуть *короны запирание*, ухудшающее работу сепаратора. Устранить его можно путем увеличения подаваемого на электроды напряжения.

Частицы с различной проводимостью ведут себя у заземленного электрода различно: проводящие — отрываются, непроводящие — удерживаются на нем; для очень мелких частиц важны силы сцепления (адгезии), удерживающие подобные частицы после соприкосновения с заземленным электродом даже в том случае, когда прижимающая их к электроду электрич. сила близка к нулю.

При сепарации сыпучих материалов на коронных камерных сепараторах используется свободное падение частиц.

Зависимость величины заряда частицы от времени при нормальном коронном разряде определяется по ф-ле Потенье:

$$Q_t = \left(1 + 2\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}\right) E^2 \varrho^2 \frac{\pi k n e t}{1 + \pi k n e t},$$

где Q_t — заряд сферич. частицы в момент времени t, E — напряженность электрич. поля в точке нахождения частицы, ϱ — радиус сферич. частицы, k — подвижность ионов, n — концентрация ионов вблизи частицы, e — элементарный заряд, t — время пребывания частицы в зоне коронного разряда.

На частицу, находящуюся в электрич. поле коронного сепаратора, оказывают влияние:

а) электростатич. (пондеромоторная) сила

$$f = E\frac{dE}{dx}\varrho^3\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}$$

(здесь x — расстояние частицы от оси коронирующего электрода), вызываемая поляризацией частицы (с $\varepsilon \neq 1$) в неоднородном электрич. поле и действующая в направлении указанного электрода в непосредственной близости от последнего;

б) сила электрич. поля (кулоновская)

$$F = QE = \left(1 + 2\frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon + 2}\right) E^2 \varrho^2 \frac{\pi k n e t}{1 + \pi k n e t},$$

где Q — заряд частицы;

в) сила тяжести $P = mg$, где m — масса частицы, а g — ускорение силы тяжести.

Разделение частиц в ионизиров. межэлектродном пространстве сепаратора обусловливается взаимодействием электрич. и механич. сил, отклоняющих заряженные частицы к заземленному электроду. Дальнейшее поведение частиц определяется конструктивными особенностями коронных сепараторов.

На барабанном сепараторе, схема одной секции к-рого показана на рис. 10, *а*, обрабатывают материалы крупностью до 4 *мм*. При этом хорошо проводящие частицы отрываются от электрода *4* и попадают в один приемник, а плохо проводящие — удерживаются на нем и счищаются щеткой *5* в другой приемник. Схема барабанного пром. сепаратора приведена на рис. 10, *б*. Особенность этих сепараторов — в наличии терморегулируемых заземленных электродов, позволяющих быстро подсушивать поверхность частиц в месте соприкосновения их с барабаном. Это позволяет сепарировать материалы с поверхностной влажностью до 5% (вместо обычных 0,5%). Если в исходном материале содержится значит. количество электропроводных частиц, то применяют отклоняющие электроды и процесс сепарации в этом случае протекает в коронно-электростатич. режиме.

На коронном камерном сепараторе обрабатывают материалы крупностью 0—8 (10) *мм* при влажности до 5%. Использование коронного разряда в лабораторных сепараторах (рис. 11, *а*) одностороннее, а в пром. сепараторах этого типа (рис. 11, *б*) — двухстороннее. Такие сепараторы не имеют движущихся и трущихся деталей. Они оснащены спец. электро-

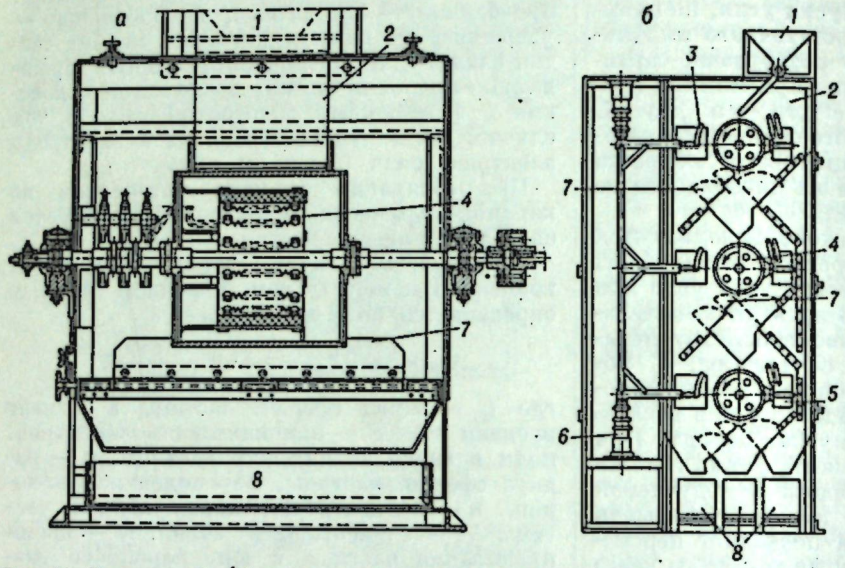


Рис. 10. Коронные барабанные электросепараторы Ин-та горного дела: *а* — лабораторный; *б* — промышленный; *1* — бункер; *2* — питатель; *3* — коронирующий электрод; *4* — заземл. электрод с трубчатыми электронагревателями; *5* — щетка; *6* — изолятор; *7* — делительные плоскости; *8* — приемники.

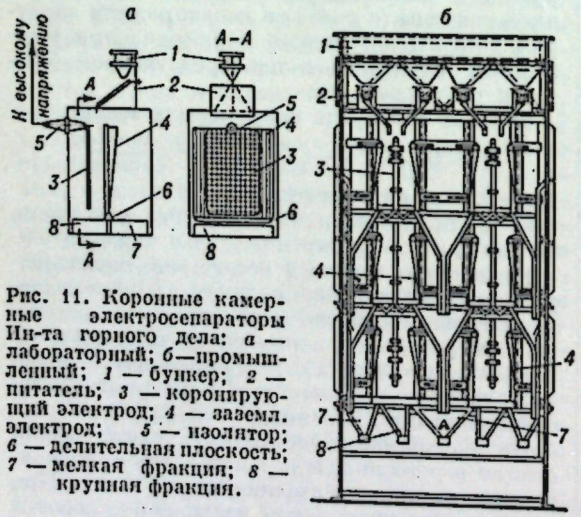


Рис. 11. Коронные камерные электросепараторы Ин-та горного дела: *а* — лабораторный; *б* — промышленный; *1* — бункер; *2* — питатель; *3* — коронирующий электрод; *4* — заземл. электрод; *5* — изолятор; *6* — делительная плоскость; *7* — мелкая фракция; *8* — крупная фракция.

дами, предотвращающими возникновение обратной короны.

Частицы обрабатываемого материала заряжаются в межэлектродном пространстве и изменяют траектории своего пути в зависимости от ε, ρ и γ (рис. 12). Эффективности процесса сепарации способствует также и электрич. ветер. Частицы с бо́льшими и меньшими ρ и γ выносятся в электрод *4* (рис. 11) и попадают в приемник 7 (мелкая фракция), а остальные — падают и собираются в приемник *8* (крупная фракция). Регулируя режим работы сепараторов изменением положения электродов, градиента напряженности поля и др., можно выделять из разнообразных сыпучих материалов фракции мелк. крупностью 20 *мк* и максимальной — до 7 *мм* (в любом диапазоне крупности). На этих сепараторах можно разделять материалы, состоящие из компонентов, различающихся уд. весом (напр., кварц — магнетит).

Коронные сепараторы в электрич. отношении совершенно безопасны, ибо все их части, не несущие высокого напряжения, заземлены. При работе отпадает надобность в пылеулавливателях. Кпд коронных сепараторов 92—98%. На них подается выпрямленный ток (20 — 50 *кв*). Расход электрической энергии на процесс сепарации ~0,1 *квт-ч/т*. Производительность сепаратора ок. 1,5 *т/час* на 1 пог. м заземленного электрода.

Путем обработки поверхностей частиц (програвливанием, хим. воздействием и др.) можно интенсифицировать их сепарацию, изменяя величину контактного сопротивления между частицей и электродом. В этом случае с помощью селективной сепарации минералы с близкими значениями физ. св-в получают

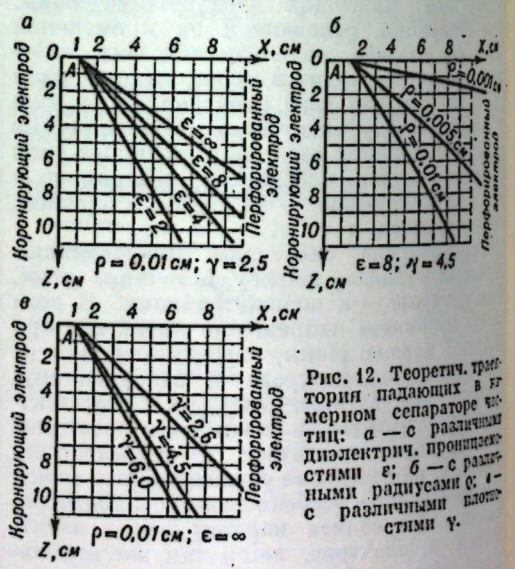


Рис. 12. Теоретич. траектория падающих в камерном сепараторе частиц: *а* — с различными диэлектрич. проницаемостями ε; *б* — с различными радиусами ρ; *в* — с различными плотностями γ.

высококачеств. концентраты из многих, ранее не перерабатывавшихся руд и продуктов.

Лит.: Плаксин И. Н., Перспективы развития новых методов обогащения полезных ископаемых, «ИАН СССР. ОТН. Металлургия и топливо», 1962, № 2; Олофинский Н. Ф., Электрические методы обогащения, 2 изд., М., 1962; Попов В. И., Григорьев В. В., Бут А. И., Электронно-ионную технологию — в народное хозяйство, «Промышленная энергетика», 1962, № 2; Капцов Н. А., Электрические явления в газах и вакууме, 2 изд., М.—Л., 1950; Плаксин И. Н., Олофинский Н. Ф., Обеспыливание, классификация и обогащение угольной мелочи на коронных электросепараторах, в кн.: Технические направления обогащения углей, М., 1963; Плаксин И. Н., Олофинский Н. Ф., Норкин В. В., Электросепарация железных руд, в кн.: Обогащение руд и углей, М., 1963; Новые направления глубокого обогащения тонковкрапленных железных руд, М., 1964; Плаксин И. Н., Олофинский Н. Ф., О применении коронных обеспыливателей и классификаторов..., в сб.: Применение сил электрического поля в промышленности и сельском хозяйстве. По материалам Международного коллоквиума, посвященного физике электростатических сил и их применению (Гренобль), М., 1964. *Н. Ф. Олофинский, И. Н. Плаксин.*

ЭЛЕКТРОУЛАВЛИВАНИЕ пыли и туманов [electrical dust collection; captation éléctrostatique des poussières (dépoussiérage éléctrostatique); elektrische Staubabsonderung] — из промышленных газов и вентиляц. воздуха производится специальными установками, в состав к-рых входят электрофильтры. Э. применяется для: а) извлечения из газов ценных продуктов, содержащихся в них во взвешенном состоянии (в виде пыли или капель жидкости); б) очистки газов, идущих на производств. или бытовые нужды, от твердых и жидких примесей; в) очистки газов и вентиляц. воздуха, выбрасываемых в атмосферу, от вредных и загрязняющих веществ, находящихся в мелкораздробленном, твердом или жидком состоянии. Э. обладает рядом преимуществ перед др. известными способами улавливания из газов дисперсных веществ. Электроулавливающие установки применяются для очистки газов (в т. ч. горючих и взрывоопасных) в количествах от нескольких $м^3$ до млн. $м^3$ газов в час при любой концентрации взвешенных частиц в очищаемых газах. Они работают как при атм. давлении, так и при давлениях выше и ниже атмосферного; могут выполняться из материалов, стойких к кислотам, щелочам и др. агрессивным веществам. Электроулавливающие установки способны обеспечить очистку газов до 99,999% и улавливать частицы размером до 0,001 *мк* и менее как в сухом, так и в мокром виде или в виде тумана. Установки безопасны в эксплуатации и могут быть полностью автоматизированы.

Осн. аппараты электроулавливающей установки — *электрофильтры*. В связи с тем, что

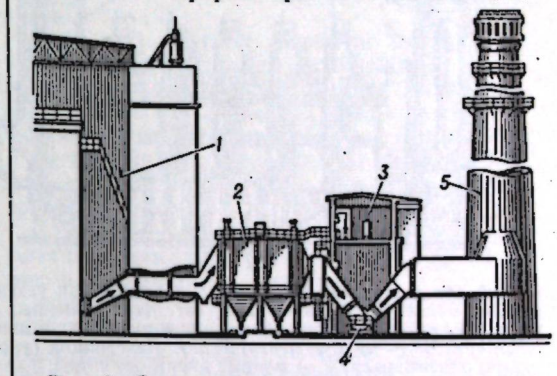


Рис. 1. Одноступенчатая электроулавливающая установка для очистки дымовых газов электростанции от золы: *1* — котельное отделение электростанции; *2* — электрофильтр; *3* — повысительно-преобразоват. подстанция для питания электрофильтров; *4* — дымосос; *5* — дымовая труба.

пром. газы поступают на очистку с различными технологич. параметрами, в т. ч. и с такими, при к-рых электрофильтры не могут работать

Технико-экономич. показатели электроулавливающих установок

Назначение установки	Степень очистки (*мг/нм³*)	Гидравлич. сопротивление (*н/м²*)	Расход на очистку 1000 *м³/ч*		Стоимость очистки 1000 *м³/ч*	
			воды (*м³*)	электроэнергии (*Мдж*)	сметная* (руб.)	эксплуатационная (коп.)
Очистка печных газов сернокислотных произ-в						
от огарковой пыли	50—100	600	—	4,0	1350	5
от тумана серной кислоты, мышьяка и селена	3—5	300	—	3,6	4250	10
Очистка отходящих газов сернокислотных произ-в от тумана серной кислоты	50—300	150	—	2,3	1650	4
Очистка газов известково-обжигат. печей от пыли в произ-ве соды	5	1000	3	4,1	1000	7
Улавливание пыли из отходящих газов сушильных барабанов в произ-ве минеральных удобрений	25—50	600	—	3,4	960	4
Очистка газов вращающихся печей от пыли при произ-ве хромпика	50	600	2	2,6	1500	5
Улавливание ламповой или форсуночной сажи на сажевых з-дах	—	1500	—	5,2	2275	9
Улавливание пылевидных катализаторов в процессе каталитич. крекинга нефтепродуктов	400	150	—	2,2	820	2,8
Очистка коксового, генераторного и др. горючих газов от смол, масел и пыли	5—10	600	2	2,4 —4,4	400—1000	2—10
	10—20	4000	4,7	12,8	1150	10,6
Очистка от пыли доменного газа	200	150	—	1,5	1270	3,6
Очистка от пыли мартеновского газа	500—1000	150—600	—	0,65—1,35	700	1,7
Очистка от золы дымовых газов электростанций	500—1000	600	—	2,3	560	2,5
Улавливание пыли из газов сушильных барабанов, сырьевых и цементных мельниц на цементных заводах	300	150	—	0,7	550	2
Улавливание угольной пыли из газов сушилок и мельниц	500	150	—	0,7	370	1,2—5,6
Улавливание клинкерной пыли из газов вращающихся печей цементных заводов						

* В сметную стоимость установок не включены стоимости строит. части (зданий, шатров, постаментов), газопроводов и устройств для транспорта уловленного продукта.

с высокими показателями, электроулавливающие установки делают не только одноступенчатыми (рис. 1), состоящими из одних электрофильтров, но и многоступенчатыми, включающими кроме электрофильтров и аппараты для подготовки газов (рис. 2). В качестве

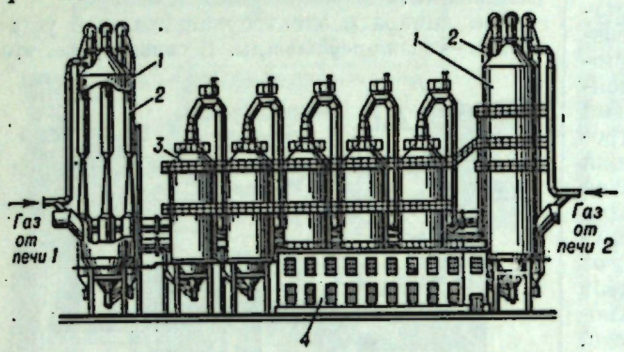


Рис. 2. Многоступенчатая электроулавливающая установка для очистки доменного газа (от двух доменных печей): *1* — скруббер для охлаждения и увлажнения доменного газа; *2* — трубы Вентури для коагуляции (укрупнения) частиц пыли; *3* — мокрые электрофильтры; *4* — повысительно-преобразоват. подстанция для питания электрофильтров и насосное отделение.

последних применяются: поверхностные холодильники для охлаждения горячих газов; водяные скрубберы и пенные аппараты для охлаждения и увлажнения поступающих на очистку газов (для снижения электрич. сопротивления взвешенных частиц); турбулентные промыватели (трубы Вентури с орошением жидкостью или вводом водяного пара) для укрупнения (коагуляции) взвеш. частиц за счет конденсации пара на частицах при охлаждении газов; пылевые камеры, циклоны и др. пылеуловители грубой очистки для предварит. очистки газов перед электрофильтрами в целях их разгрузки; устройства для кондиционирования газов, представляющие собой дозаторы для ввода в газы кондиционирующих реагентов (напр., серного ангидрида или аммиака), электропроводных мелкораспыленных частиц и др. веществ для снижения электрич. сопротивления пыли и улучшения процессов зарядки и осаждения ее в электрофильтрах, и др. устройства.

Э. находит широкое применение в различных отраслях пар. х-ва (табл.). *В. Н. Ужов.*

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКАЯ И ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ РАЗМЕРНАЯ ОБРАБОТКА МАТЕРИАЛОВ (electrophysical and electrochemical treatment of materials; traitement électrophisique et électrochimique des matériaux; werkstoffumformung auf elektrophysikalischem und elektrochemischem Wege)—электрич. и электрохимич. процессы и методы непосредственного теплового, механич. или химич. воздействия на твердое тело с целью придания ему заданной формы и размеров; являясь составной частью электронной технологии (см. *Электроника*), в свою очередь, разделяется на 2 класса :1) без снятия «стружки», аналогичная обработке давлением (магнитоимпульсная и электрогидравлическая обработка); 2) со снятием «стружки», аналогичная механич. обработке резанием.

В зависимости от физич. процесса, положенного в основу, методы 2-го класса можно разделить на 4 группы. 1-я группа охватывает *электроэрозионную обработку* металлов, основанную на использовании преобразуемой в тепло энергии электрич. разрядов, возбуждаемых между инструментом и изделием. Вид электрич. разряда (искра, дуга), параметры импульсов тока, напряжения и другие условия определяют характер электроэрозионной обработки, подразделяющейся по этим признакам на 4 осн. разновидности: *электроискровую обработку*, *электроимпульсную обработку*, *электроконтактную обработку* и *анодно-механическую обработку*, каждая из к-рых отличается выходными технологич. хар-ками, оборудованием и имеет свою область пром. применения. Ко 2-й группе методов, используемых для обработки как токопроводящих, так и неток проводящих материалов, относятся лучевые способы обработки, основанные на съеме материала при воздействии на него концентрированными лучами с высокой плотностью энергии. Съем материала осуществляется при преобразовании этой энергии непосредственно в зоне обработки в тепло. К лучевым методам относится обработка сфокусированными световым, электронным или ионным лучами. Лучевой обработке по кинематике формообразования подобен метод обработки тонкой струей жидкости при сверхвысоком давлении, способной прошить отверстие или разрезать листовой материал. К 3-й группе относится метод импульсного ударного механич. воздействия на материал. Этот метод назван ультразвуковых, т. к. частота ударов соответствует диапазону неслышимых звуков (свыше 16 *кгц*). Этим методом обрабатываются твердые и хрупкие материалы, частицы к-рых могут выкалываться при ударе (см. *Ультразвуковое резание*). К 4-й группе относится электрохимич. размерная обработка токопроводящих материалов, основанная на анодном растворении одного из электродов, погруженного в электролит, через к-рый в электроды проходит электрич. ток. Электрохимич. обработка разделяется на 2 основные разновидности: а) обработка в среде проточного электролита, протекающего в малом зазоре между электродами и выносящего продукты реакции из зоны обработки; б) электроалмазная (или электроабразивная) обработка, основанная на комбинированном электромеханич. и механич. воздействии на обрабатываемое изделие (анод) вращающимся электродом (катод), содержащим алмазные или абразивные зерна.

Характерными особенностями Э. и э.р.о.м. являются: возможность обработки материалов трудно или совсем необрабатываемых механич. способом, возможность производительного изготовления изделий со сложной формой, в том числе и недоступной для методов механич. обработки. Э. и э. р. о. м. интенсивно развивается в СССР и за рубежом, дополняя или заменяя методы механич. обработки давлением и резанием. *А. Л. Лившиц.*

ЭЛЕКТРОФИЛЬТР (electro-filter; filtre électrique; Elektrofilter) — аппарат для очистки пром. газов и вентиляц. воздуха от содержащихся в них взвешенных частиц (пыли, дыма, туманов); основан на использовании явлений ионизации газов с помощью *коронного разряда*, зарядки частиц движущимися ионами в электрич. поле (см. *Зарядка частиц*) и осаждения заряж. частиц на электроды под действием сил электрич. поля (см. *Осаждение частиц*). Процесс очистки газов в Э. описан в ст. *Газоочистка электрическая*.

Конструкция электрофильтров. По принципу действия Э. разделяются на: однозонные, в к-рых взвешенные частицы заряжаются и осаждаются в одной конструктивной зоне, где расположены и коронирующая и осадит. системы; двухзонные, в к-рых частицы заряжаются и осаждаются в разных конструктивных зонах: в 1-й зоне располагается коронирующая система (ионизатор), а во 2-й — осадит. система (осадитель).

Однозонный Э., применяемый для очистки пром. газов, состоит обычно из двух частей (рис. 1): собственно электрофильтра, или осадит. камеры, через к-рую пропускается газ, подлежащий очистке, и преобразоват. подстанции, предназначенной для питания Э. выпрямл. током высокого напряжения. Питающий электрич. агрегат включает аппаратуру защиты — автоматич. выключатель *1*, предохранители *2*, регулятор напряжения *3*, повысит. тр-р *4* (220—380 *в*/80—90 *кв*), высоковольтный выпрямитель *5*, преобразующий перем. ток высокого напряжения в выпрямленный ток, необходимый для питания собственно Э. *6*. Выпрямленный ток высокого напряжения подводится к Э. по высоковольтному кабелю или шинам *10* через изолятор *11*. В Э. имеются электроды двух типов — осадительные *7* и коронирующие *8*. Осадит. электроды присоединяются к положит. выводу выпрямителя и заземляются (через заземлитель *9*, для упрощения установки и безопасности эксплуатации). Коронирующие электроды изготовляются из проволоки различного профиля, изолируются от земли и присоединяются к отрицат. выводу выпрямителя.

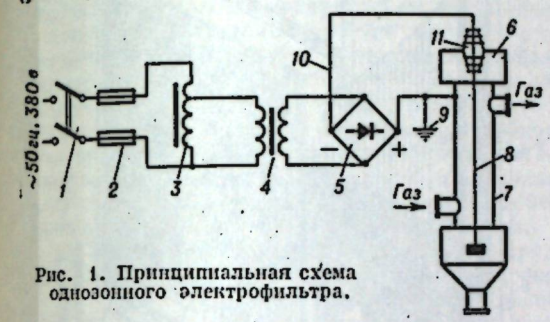


Рис. 1. Принципиальная схема однозонного электрофильтра.

Однозонные Э. в зависимости от формы осадит. электродов разделяются на два типа: трубчатые и пластинчатые. Трубчатые Э. — это аппараты с вертик. ходом газов. Очищаемые газы проходят через трубчатые осадит. электроды круглого, шестиугольного или квадратного сечения, заключенные в общий каркас или сплошной корпус. Трубчатые Э. применяют преимущественно для улавливания жидкостей, но имеются конструкции и для улавливания твердых частиц.

Пластинчатые Э. (см. рис. на вклейке) имеют осадит. электроды в виде пластин, между к-рыми помещены коронирующие электроды, укрепленные на рамах, изолированных от пластин и корпуса Э. В зависимости от направления движения газов пластинчатые Э. делятся на вертикальные и горизонтальные.

В одном корпусе фильтра может быть размещено несколько независимых последовательно расположенных систем электродов (электрич. полей). Такие Э. по числу полей наз. двух-, трех-, четырехпольными и т. д. Электрич. поле в пластинчатых Э. распределено хуже, чем в трубчатых, они работают обычно при меньших скоростях газов, но зато их проще изготовить, и электроды у них встряхиваются гораздо легче, чем в трубчатых. Применяются в основном для улавливания твердых частиц.

Часто Э. собирают в общем корпусе из нескольких параллельно расположенных одинаковых секций. Это позволяет отключать часть аппарата (секцию) для осмотра, чистки и ремонта. С этой же целью односекционные Э. устанавливают параллельно по нескольку штук. По числу секций Э. наз. одно-, двух-, трехсекционными и т. д.

Корпуса Э. делают из стали, железобетона, естеств. камня, кирпича, пластмасс и др. стойких в данной среде материалов.

В ряде случаев для достижения более высокой степени очистки однозонные Э. комбинируют в блоки с газоочистными аппаратами других типов. Комбинированный аппарат скруббер-электрофильтр (см. рис. на вклейке) состоит из насадочного скруббера и мокрого трубчатого фильтра, скомпонованных в общем корпусе. Нижняя, скрубберная, часть служит для охлаждения и предварит. очистки газов от пыли путем промывки водой; в верхней части — собственно Э. — газы окончательно очищаются.

Сухой двухступенчатый комбинированный пылеуловитель — батарейный циклон-электрофильтр (см. рис. на вклейке), включает в себя батарейный циклон (первая предварит. ступень улавливания пыли) и вертик. пластинчатый Э. (вторая, окончат. ступень улавливания), расположенные в общем корпусе.

Однозонные Э. самостоятельно и в комбинации с др. газоочистными аппаратами широко применяются для очистки пром. газов от пыли, дымов и туманов в технологич. и санитарных целях (см. *Электроулавливание*), а также для очистки горючих и взрывоопасных газов. Э. работают как при атм. давлении, так и при давлении выше и ниже атмосферного. Темп-ра очищаемых газов может достигать 500° С и более, степень очистки газов — до 99,9%.

Процесс очистки газов в Э. возможно полностью автоматизировать применением устройств автоматич. регулирования напряжения, включения и отключения подачи газов, механизмов встряхивания электродов и выгрузки уловленного продукта.

Двухзонный Э., используемый для тонкой очистки от пыли воздуха (рис. 2), состоит из ионизатора и осадителя. Ионизатор имеет ряд положительно и отрицательно заряж. электродов, к-рые служат для образования зоны коронного разряда. Электроды делают малой площади с таким расчетом, чтобы находящаяся в воздухе пыль успела зарядиться, но не успела осесть на них и загрязнить, ибо в этом случае может снизиться интенсивность коронного разряда. В осадителе, наоборот, предусмотрена развитая поверхность обоих электродов пластинчатого типа для обеспечения осаждения пыли.

В двухзонном Э., приведенном на рис. 2, запыленный воздух проходит через ионизатор *2*, представляющий собой устройство из

проводов, находящихся под высоким напряжением (+ 14 *кв*), и чередующихся с ними трубок, заземленных и подсоединенных к минусовому выводу выпрямителя *4* электроагрегата питания. В ионизаторе происходит интенсивный коронный разряд между проводами и трубками. Взвешенные в воздухе частицы пыли, проходя через ионизатор, заряжаются и затем вносятся потоком воздуха в равномерное электрич.

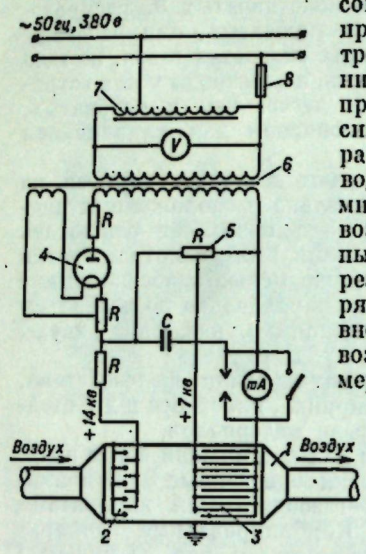


Рис. 2. Принципиальная схема двухзонного электрофильтра: *1* — корпус электрофильтра; *2* — ионизатор электрофильтра; *3* — осадитель электрофильтра; *4* — кенотрон; *5* — делитель напряжения; *6* — высоковольтный тр-р; *7* — автотр-р; *8* — предохранитель.

поле осадителя *3*, образованное большим числом чередующихся заземленных металлич. пластин и пластин, присоединенных к плюсовому выводу выпрямителя (+ 7 *кв*) и изолированных от земли; между соседними пластинами сохраняется небольшой (6—7 *мм*) воздушный промежуток. В поле осадителя заряж. частицы пыли осаждаются на пластинах противоположного знака.

Осевшая пыль удаляется с осадит. электродов двухзонных Э. периодически или непрерывно путем промывки электродов маслом или водой с последующей смазкой их вязким маслом (для лучшего удержания частиц). В Э. с непрерывной очисткой электродов (рис. 3) система положит. пластин осадителя смонтирована неподвижно на высоковольтных фарфоровых изоляторах. Пакеты заземленных отрицат. пластин укреплены на двух бесконечных цепях, вращающихся на верхней и нижней звездочках и образующих постоянно движущуюся завесу. Нижняя часть этой завесы погружена в масляную ванну, через к-рую поочередно проходят все пакеты заземл. пластин для смыва осевшей на пластинах пыли и покрытия их пленкой вязкого масла. Пыль, осевшая на неподвижных пластинах, удаляется щетками, установленными на изоляторах на движущейся завесе. Они не только удаляют пыль, осевшую на неподвижных пластинах осадителя, но и покрывают их свежей пленкой масла. Эти щетки, в свою очередь, очищаются от пыли при прохождении через масляную ванну.

Двухзонные Э. применяются для тонкой очистки воздуха от взвешенных в нем микроскопич. частиц песка, металлов, золы, сажи, волокон органич. веществ и др. видов тонко измельч. материалов, а также бактерий, спор плесени, цветочной пыльцы и др. Этими аппаратами из воздуха могут улавливаться частицы микронного и субмикронного диапазона, начиная примерно с 0,25 *мк*.

В воздухе больших городов и пром. р-нов суммарная концентрация пыли составляет в ср. 0,2—1,0 *мг/м*³ с повышением в пек-рых местах до 3—5 *мг/м*³. В двухзонных Э. воздух очищается на 85—95%, напр. перед использованием его для охлаждения мощных

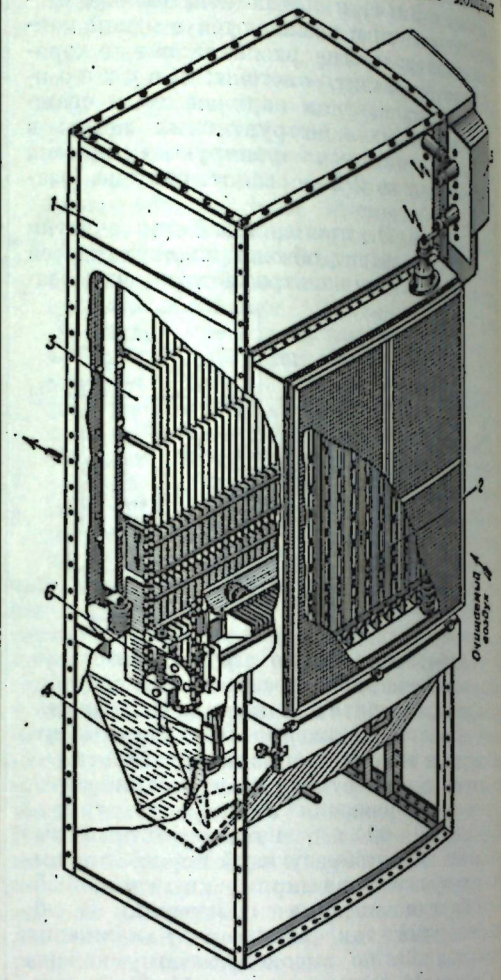


Рис. 3. Двухзонный электрофильтр с непрерывной автоматич. очисткой электродов: *1* — корпус; *2* — ионизатор; *3* — осадитель; *4* — масляная ванна; *5* — высоковольтный ввод; *6* — привод осадит. электродов.

электрич. машин, вентиляции и кондиционирования в обществ. помещениях, а также в помещениях для произ-ва кинопленки, прозрачных пластмасс, часов, измерит. приборов, фармацевтич. веществ, редких элементов и др. Если нач. запыленность очищаемого воздуха превышает 10 *мг/м*³, необходимо перед двухзонными Э. устанавливать пылеулавливающие аппараты (напр., висциновые фильтры) для предварит. очистки воздуха.

Электроды электрофильтров служат для формирования электрич. поля, необходимого для поддержания коронного разряда, осаждения и вывода из газового потока содержащихся в нем взвешенных частиц (пыли или тумана).

Электроды, в зоне к-рых создается коронный разряд, наз. коронирующими. Электроды, на к-рых осаждается осн. часть улавливаемых частиц, наз. осадительными. Коронирующие электроды должны иметь: точную форму, обеспечивающую интенсивный и достаточно однородный коронный разряд; механич. прочность и жесткость, ибо электроды работают в условиях вибрации и раскачивания (под действием аэродинамич. сил, вызванных электрич. разрядом, движущегося газового потока и механизмов встряхивания); стойкость в условиях газовой среды, к-рая может иметь повышенную темп-ру, содержать агрессивные компоненты (газы, кислоты, щелочи и пр.).

По принципу действия коронирующие электроды разделяются на две группы:

1) Электроды, к-рые не имеют фиксиров. разрядных точек по своей длине. У таких электродов при отрицат. короне точки разряда располагаются вдоль электрода на разных расстояниях (в зависимости от режима работы Э. и состояния поверхности электрода). Типичные сечения коронирующих электродов этой группы: круглое (диаметром 2—4 *мм*); квадратное (со стороной квадрата 3—4 *мм*), причем электрод квадратного сечения иногда скручивают так, чтобы ребра электрода образовали винтовые линии; звездчатое с различным количеством вершин; ленточное (размером 10×1 *мм*² или 15×1 *мм*²). Величина поперечного сечения у таких электродов достаточна для создания механич. прочности, а части поверхности имеют малый радиус кривизны для обеспечения интенсивного коронного разряда.

2) Электроды с фиксиров. точками разряда по длине электрода. Такими точками служат острия или шипы, располагаемые на поверхности электрода на определ. расстоянии друг от друга. Типичный пример такого электрода — колючая проволока. Применяются также коронирующие электроды из ленты с выштампованными зубцами или шипами (рис. 4). Иногда шипы располагают на электродах квадратного или др. профиля.

Рис. 4: Коронирующие электроды для электрофильтров с фиксированными точками разряда: *а*, *б*— электроды с шипами; *в* — электрод с зубцами.

Коронирующие электроды обеих групп идут для Э. трубчатого и пластинчатого типов. Их изготовляют из металла, стойкого в данной среде: конструкционной или спец. сталей, ферросилида, меди, алюминия, серебра и др. Осадит. электроды трубчатых Э. выполняют из труб круглого, квадратного или шестиугольного сечения с диаметром вписанной окружности 200—300 *мм* и длиной 3 000—5 000 *мм*. Коронирующие электроды располагают строго по осям осадит. электродов. Они подвешиваются к раме, размещенной над осадит. электродами и электрически изолированной от них и от корпуса Э. К нижним концам коронирующих электродов прикрепляются натяжные грузы. Для фиксации расстояний между электродами в нижней части они связываются рамой, располагаемой под осадит. электродами. Чаще всего верхняя рама укрепляется на изоляторах, устанавливаемых вне аппарата, а нижняя рама висит на коронирующих электродах. В Э. пластинчатого типа коронирующие электроды также укрепляют в трубчатых рамах, установленных между осадит. электродами и подвешенных посредством кронштейна и тяги к изоляторам.

При улавливании трубчатыми Э. туманов осаждающийся на электродах продукт без затруднений стекает в виде жидкости в нижнюю часть фильтра. При наличии в улавливаемом продукте твердых частиц они удаляются с электродов периодической промывкой электродов водой или др. жидкостью с помощью форсунок или брызгал. В ряде случаев (когда уловленный продукт склонен к образованию отложений) осадит. электроды промывают непрерывно; для этого на стенках электродов создается стекающая пленка жидкости, на к-рую и осаждается улавливаемый продукт. Для улавливания пыли в сухом виде трубчатые Э. применяются редко из-за сложности очистки электродов. В этих случаях удаление пыли с электродов производится механизмами встряхивания или обстукивания.

Осадит. электроды пластинчатых Э. можно разделить на несколько групп. Гладкие электроды (рис. 5) выполняются в виде пластин

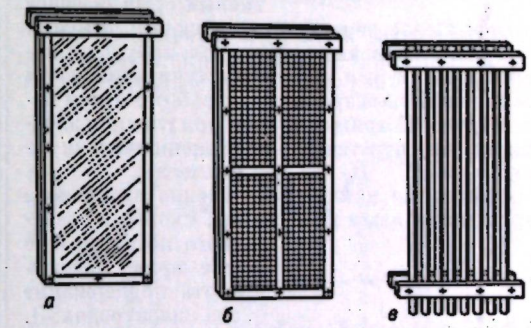


Рис. 5. Гладкие пластинчатые осадит. электроды: *а* — из листового металла; *б* — сетчатый; *в* — прутковый.

из листового металла, вставленных в рамки сеток, полос или прутков. Такие электроды конструктивно просты, хорошо очищаются от осевшей пыли и позволяют Э. работать с высокими электрич. хар-ками. Однако при скорости газов выше 1 *м/сек* возможен срыв и унос газовым потоком с поверхности электродов части уловленной пыли. Второй недостаток — унос газовым потоком некрой части пыли, когда она падает вниз во время встряхивания. При увеличении скорости газов в Э. этот, т. н. вторичный унос пыли увеличивается. По указанным причинам гладкие осадит. электроды в сухих Э. не применяют при скорости газов, превышающей 0,8—1,0 *м/сек*.

Необходимость уменьшения габаритов и стоимости Э., увеличения скорости прохождения очищаемых газов через фильтр при одновременном повышении степени их очистки привела к созданию осадит. электродов усложненных форм и конструкций. В электродах коробчатого типа (рис. 6) внутренняя полость используется для транспорта удаляемой с электродов пыли. Они выполняются в виде двух- или трехстенной коробки, наружные стенки к-рой (обращенные к коронирующим электродам) снабжены отверстиями круглой формы, щелями или карманами. Значит. часть пыли, осевшей на наружной поверхности коробчатого электрода, при встряхивании падает вниз, через отверстия попадает во внутр. полость электрода и затем выводится из газового потока. Кроме того, во внутр.

полость попадает часть пыли, движущейся к поверхности электродов под действием электрич. поля. В результате этого вторичный унос пыли значительно снижается даже при более высокой скорости газового потока. Осадит. электроды коробчатого типа могут применяться в сухих Э. при скорости газов до 2 *м/сек*.

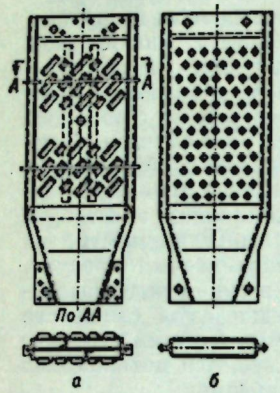


Рис. 6. Осадит. электроды коробчатого типа: *а* — карманный; *б* — перфорированный.

Существ. недостаток таких электродов: сложность изготовления, значит. расход металла и высокая стоимость. Кроме того, при использовании коробчатых электродов с гладкой наружной поверхностью все же происходит частичный срыв осевшей пыли и вынос ее из фильтра газовым потоком. При использовании электродов, наружная поверхность к-рых имеет выступающие части (карманные электроды), Э. работают при более низком напряжении, чем при гладких электродах, что отражается на степени очистки газов.

Стремление исключить явление вторичного уноса пыли даже при значит. скоростях газового потока и в то же время обеспечить поддержание на электродах Э. возможно более высокого напряжения привело к изменению формы пластинчатых электродов в электроды желобчатого типа (рис. 7). Такой электрод представляет собой гладкую пластину с ребрами. Ребра установлены перпендикулярно к плоскости пластины и служат для защиты от воздействия газового потока на слой осевшей на электроде и падающей при его встряхивании пыли. Электроды желобчатого типа выполняют также в виде вертикальных или наклонных желобов различной конфигурации, причем для них наиболее типичны V- и С-образные формы.

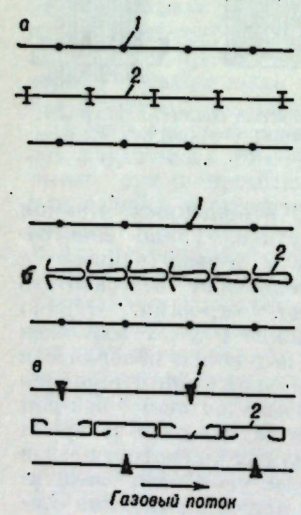


Рис. 7. Осадит. электроды желобчатого типа и применяемые в паре с ними коронирующие: *а* — с ребрами; *б* — V-образные; *в* — С-образные; *1* — коронирующий электрод; *2* — осадит. электрод.

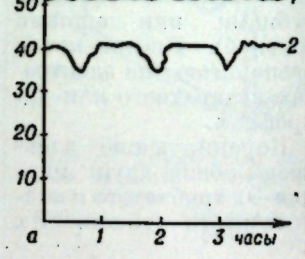
Желобчатые электроды применяются при скорости газов до и более 2 *м/сек*. При их использовании удается снизить до минимума вторичный унос пыли, обеспечить работу Э. с оптим. показателями, они требуют меньшего расхода металла на изготовление и поэтому находят в последнее время все большее применение.

Материалом для осадит. электродов сухих Э. чаще всего служит металл, в отдельных случаях — железобетон, для мокрых Э.— также уголь, графит, дерево, кирпич, естеств. камень, пластмасса.

Выбор типа коронирующего и осадит. электродов производится на основании технико-экономич. показателей с учетом требований к степени очистки газов в конкретных случаях практики.

Электроагрегат для питания Э. включает в себя: а) панель управления, к-рой смонтирована аппаратура включения и отключения электроагрегата, аппаратура регулирования напряжения, защиты и блокировки, контроля и сигнализации; б) регулятор напряжения; в) высоковольтный тр-р; г) выпрямитель; д) высоковольтный выключатель. Электроагрегаты обладают сравнительно небольшой мощностью (20—50 *квт*) и относительно высоким напряжением, подаваемым на Э. (60—90 *кв*). Они работают на пост. токе и при рабочем напряжении, всего на несколько процентов меньшем, чем пробивное напряжение фильтра. Пробивное напряжение во время работы изменяется обычно в значит. пределах, т. к. зависит от многих изменяющихся факторов (количество очищаемых газов, их темп-ра, плотность, влажность, концентрация взвешенных частиц в газах, наличие и св-ва слоя пыли на электродах и др.).

Т. к. эффективность Э. тем выше (соответственно, напр., остаточное содержание золы в дымовых газах тем ниже), чем ближе рабочее напряжение к пробивному, то в процессе работы необходимо непрерывно регулировать напряжение на электродах Э., поддерживая его на максимально возможном уровне (рис. 8).



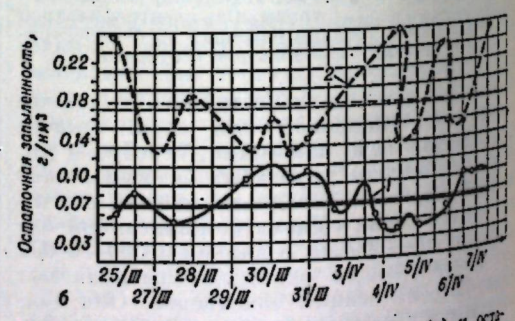


Рис. 8. Графики электрич. режима (*а*) и остаточного содержания золы в дымовых газах после очистки (*б*) в электрофильтре при автоматическом *1* и ручном *2* регулировании напряжения.

При таких условиях работы в Э. периодически возникают искровые разряды между коронирующими и осадительными электродами (из-за изменения технологии, параметров очищаемого газа, из-за вибрации отдельных коронирующих электродов, при обвалах пыли или стекании жидкости с электродов и др.). Искровые разряды представляют собой непрерывные пробои малой длительности (значительно меньше 0,1 периода пром. частоты), вызывающие незначит. толчки тока в цепи питания.

Зажигающийся в междуэлектродном пространстве разряд длится несколько сотен периодов и сопровождается повышением потребляемого тока. Искровые разряды в Э. неизбежны и опасности для оборудования не представляют, если предотвратить возможность перехода искрового разряда в затяжную дугу кз.

Регулирование напряжения в электроагрегатах производится с помощью автотр-ров, потенциал-регуляторов, тр-ров с короткозамкнутыми подвижными обмотками, магнитных усилителей. Для выпрямления тока служат гл. обр. механические и ПП выпрямители (селеновые и кремниевые), реже кенотронные.

Электроагрегаты бывают однофазные и трехфазные и рассчитываются на работу по схеме однополупериодного, двухполупериодного выпрямления перем. тока. Они разделяются на устройства с ручным управлением и автоматизированные.

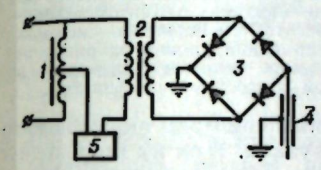


Рис. 9. Блок-схема электроагрегата с ручным управлением: *1* — автотр-р; *2* — высоковольтный тр-р; *3* — выпрямитель; *4* — электрофильтр; *5* — пульт управления.

На рис. 9 дана блок-схема электроагрегата с ручным управлением. Она обеспечивает регулирование напряжения на Э. на уровне, значительно более низком, чем оптимальное (рис. 10), ибо дежурный персонал с помощью ручного управления не в состоянии своевременно изменять напряжение агрегата при резких кратковременных изменениях технологич. параметров очищаемых газов. Из-за опасности чрезмерного увеличения тока при пробоях в Э. и частых отключениях их под действием максимально-токовой защиты дежурный персонал вынужден поддерживать на Э. заниженное по сравнению с оптимальным напряжение, снижая тем самым эффективность очистки газов.

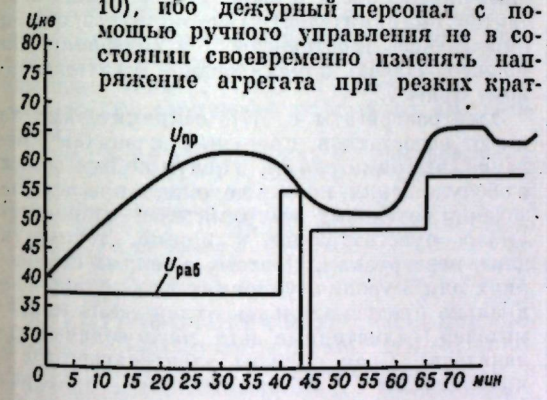


Рис. 10. График регулирования напряжения на электрофильтре от электроагрегата с ручным управлением: $U_{пр}$ — пробивное напряжение; $U_{раб}$ — рабочее напряжение.

В основу автоматизированных электроагрегатов положены две системы регулирования напряжения. Автоматизированный электроагрегат, блок-схема к-рого дана на рис. 11, обеспечивает поддержание напряжения на электродах Э. вблизи пробивного (рис. 12). Для этого на Э. периодически плавно повышается напряжение. При пробоях напряжение, подаваемое на Э., отключается (или резко снижается до величины, обеспечивающей гашение возникших дуг), а спустя нек-рое время (0,5—3 сек.) включается вновь. За время отключения напряжение автоматически снижается на небольшую величину так, чтобы после повторного включения оно было несколько ниже границы пробоя. Этим предотвращается повторное возникновение дуговых разрядов. Если по истечении определенного, заранее установленного промежутка времени (от 0 до 60 мин.), в Э. не наблюдаются дуговые разряды при сниженном напряжении, то напряжение снова повышается до образования дуг, после чего процесс снижения и повышения напряжения повторяется.

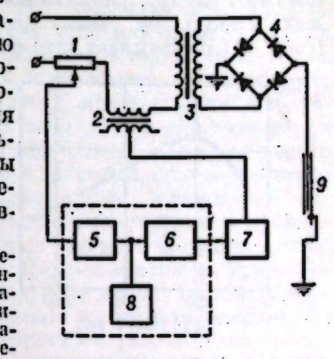


Рис. 11. Блок-схема автоматизированного электроагрегата, снабженного системой регулирования уровня напряжения на электрофильтре в пределах пробивного и сниженного на заданную величину: *1* — сопротивление; *2* — магнитный усилитель (дроссель подмагничивания); *3* — высоковольтный тр-р; *4* — выпрямитель; *5* — устройство обратной связи по току; *6* — блок усиления; *7* — устройство управления магнитным усилителем; *8* — устройство, задающее уровень напряжения; *9* — электрофильтр.

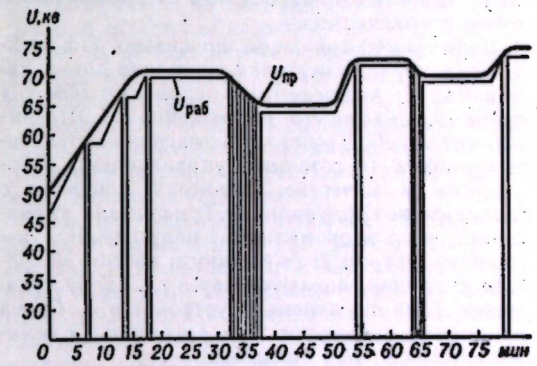


Рис. 12. График регулирования напряжения на электрофильтре от автоматизированного электроагрегата, снабженного системой регулирования уровня напряжения в пределах пробивного и сниженного на заданную величину.

Действие автоматизированного электроагрегата, блок-схема к-рого дана на рис. 13, основано на регистрации числа искровых разрядов в единицу времени в междуэлектродных

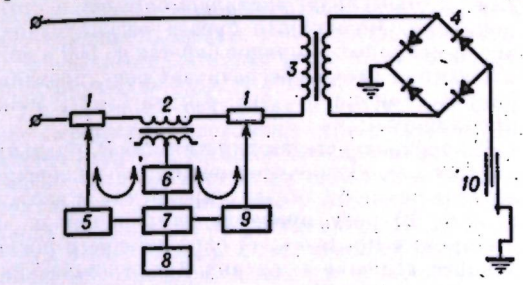


Рис. 13. Блок-схема автоматизированного электроагрегата, снабженного системой непрерывного регулирования уровня напряжения в зависимости от числа искровых разрядов в междуэлектродном пространстве электрофильтра.

промежутках Э. и регулировании напряжения по их числу. Кривая зависимости эффективности Э. (напр., улавливающего золу из дымовых газов) от числа искровых разрядов (рис. 14) показывает, что фильтр работает оптимально при определ. числе искровых разрядов в единицу времени. Понижение или повышение напряжения, вызывающее изменение количества искровых разрядов, приводит к ухудшению очистки газов. Для разных типов Э. оптим. значения напряжения и количества искровых разрядов могут быть различными.

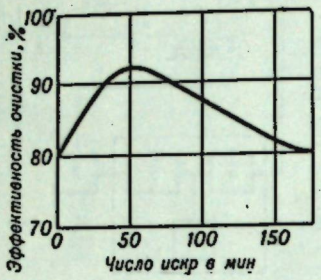


Рис. 14. Зависимость эффективности электрофильтра, улавливающего золу, от числа искровых разрядов.

В автоматизированном электроагрегате (рис. 13) для автоматич. управления Э. используются два контура обратной связи: по потребляемому току и по числу искровых разрядов. Эти цепи могут действовать независимо или совместно в зависимости от требования к схеме управления.

Величина напряжения, подаваемого на электрофильтр, регулируется дросселем подмагничивания *2*, включенным в первичную обмотку тр-ра *3*, подающего напряжение на ПП выпрямитель *4*. Дроссель подмагничивается тиратроном *6* (с сеточным управлением), работающим в качестве усилителя мощности с большим коэфф. усиления. Три сигнала управления, пропорциональные напряжению, заданному устройством *8*, току и частоте искровых разрядов, подаются через гл. схему сравнения *7* на тиратронное устройство *6*. Схема сравнения действует как смеситель, суммирующий входные сигналы.

Управление по току осуществляется генератором сигнала *5*, преобразующим сигнал перем. тока в сигнал ошибки, к-рый пропорционален величине отклонения тока от заданного значения. Первичный ток определяется по падению напряжения на небольшом сопротивлении *1* в первичной цепи. Генератор сигнала частоты искрения *9* преобразует импульсы искровых разрядов в сигнал ошибки, к-рый в виде напряжения, пропорционального частоте искрения, подается на тиратрон *6*. Последний регулирует напряжение на электрофильтре *10* т.о., чтобы поддерживалась определ. частота искрения. Возможный предел регулирования числа искровых разрядов берется до 500 в мин. Указанная схема обеспечивает регулирование напряжения на Э. (рис. 15) на 2—3% ниже пробивного.

К электроагрегатам для питания Э. предъявляются следующие требования: а) включение и отключение с панелей управления и дистанционно; б) регулирование напряжения на Э. в широких пределах; в) ограничение и последующее гашение электрич. дуг, возникающих при пробоях в Э.; г) автоматич. повторное включение напряжения после гашения дуги; д) способность поддерживать напряжение на электродах Э. по возможности близким к пробивному.

При выборе электроагрегата для Э. руководствуются следующим. Электроагрегаты с механич. выпрямителями просты, сравнительно дешевы, при нормальном обслуживании имеют почти неогранич. срок службы, не чувствительны к повышенным темп-рам окружающего воздуха и к перегрузкам. При их применении возможно изменение формы волны выпрямленного напряжения, а также до нек-рой степени и пределов макс. и миним. напряжений, что позволяет добиться оптим. работы Э. в различных условиях. Однако такие электроагрегаты нуждаются в спец. уходе и наблюдении (из-за наличия вращающихся частей), выделяют вредные окислы азота и озон (при искрении контактов выпрямителей), генерируют в сеть и окружающее пространство ВЧ колебания, что может создавать помехи радио- и телевизионному приему.

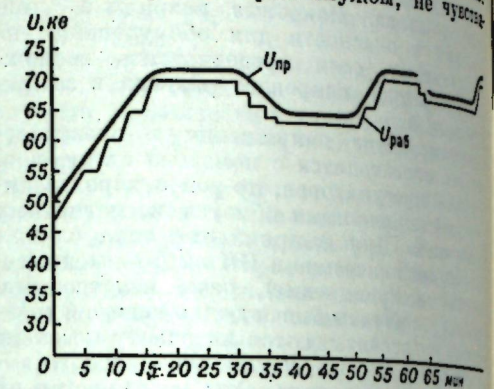


Рис. 15. График регулирования напряжения в электрофильтре при питании от автоматизированного электроагрегата, снабженного системой непрерывного регулирования уровня напряжения в зависимости от числа искровых разрядов в междуэлектродном пространстве фильтра.

Электроагрегаты с ПП выпрямителями имеют недостатков, присущих агрегатам с механич. выпрямителями, и почти не нуждаются в обслуживании, но они дороже, а при использовании селеновых выпрямителей становятся весьма чувствительны к повыш. темп-ре и длит. перегрузкам. Поэтому в теплых помещениях или в тропич. условиях необходимо специально предусматривать охлаждение выпрямителей (радиаторные или масловодяные охладители). Срок службы электроагрегатов с кремниевыми выпрямителями — примерно 10 лет, с селеновыми — 5—6 лет, однако падение напряжения в селеновых выпрямителях может увеличиваться на 50% в период между 10 000—50 000 ч. работы.

Амплитуда напряжения, допустимая для междуэлектродного расстояния в Э., зависит от формы кривой напряжения, подаваемого на электроды. Когда фильтр питается от агрегата с двухполупериодным выпрямителем, то он работает устойчиво при более высоком напряжении, чем при питании от агрегата с шестифазным выпрямителем, а при питании от агрегата с однополупериодным выпрямителем при еще более высоком напряжении, чем в первых двух случаях. Объясняется это тем, что с увеличением числа разрывов в кривой напряжения облегчаются условия гашения дуговых разрядов и затрудняется переход искровых разрядов в дуговые.

В связи с этим в последнее время для питания Э. начал применяться импульсный электроагрегат (рис. 16). Он включает в себя генератор импульсов высокого пост. напряжения с длительностью импульсов порядка 100—15

мксек при частотах в несколько сот импульсов в сек. В качестве источника импульсов и для переключений используются вращающиеся

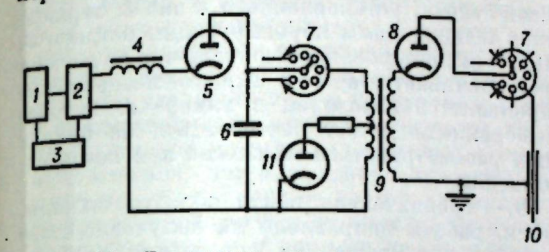


Рис. 16. Блок-схема импульсного электроагрегата для питания электрофильтров: *1* — регулятор напряжения; *2* — источник питания пост. током; *3* — пульт управления; *4* — дроссель; *5* — заряжающий диод; *6* — конденсатор; *7* — вращающийся искровой переключатель; *8* — выходной диод; *9* — импульсный тр-р; *10* — электрофильтр; *11* — диод, стабилизирующий форму кривой импульсов.

синхронизированные искровые промежутки, но могут быть применены и электронные прерыватели. Выход источника импульсов присоединяется к нескольким секциям Э.

Импульсное питание позволяет получать более высокие пиковые напряжения при оптимальной величине искровых разрядов. При этом достигаются высокий кпд электрич. части установки, высокая степень очистки газов и автоматич. ограничение тока при возникновении искровых разрядов. При импульсном питании на электродах Э. удается устойчиво поддерживать напряжение на несколько *кв* выше, чем при однополупериодном или двухполупериодном питании. Ток короны при этом повышается на 20—35% по сравнению с установками, питающимися от обычных выпрямителей.

Лит.: Жебровский С. П., Электрофильтры, М.—Л., 1950; Ужов В. Н., Очистка промышленных газов электрофильтрами, М., 1962; Шнеерсон Б. Л., Электрическая очистка газов, М., 1950; Rose H. E., Wood A. J., An introduction to electrostatic precipitation in theory and practice, L., [1956]; Применение сил электрического поля в промышленности и сельском хозяйстве, раздел IV. Электрогазоочистка, М., 1964. *В. Н. Ужов.*

ЭЛЕКТРОФОТОГРАФИЯ (electrophotography; elektrophotographie; Elektrofotographie) — область фотографии, в к-рой в качестве светочувствит. слоев используются фотополупроводники. Из всех фотополупроводников в Э. практически применяются селен и окись цинка. Селен напыляется в вакууме на металлич. подложку, окись цинка диспергируется в связующем и наносится методом полива на бумажную основу.

Электрофотографич. процесс состоит из 5 стадий: заряжения слоя, экспонирования, проявления, переноса и закрепления изображения. Процесс заряжения слоя основан на осаждении ионов на поверхность слоя в *коронном разряде*. Скрытое изображение, обусловленное неравномерной плотностью заряда, возникает на поверхности фотополупроводника в результате экспонирования на него позитивного или негативного изображения. Существует ряд способов проявления скрытого изображения. При каскадном проявлении проявитель представляет собой смесь частиц красящего порошка с более крупными по размеру частицами носителя (напр., стеклянными шариками), к-рые заряжают частицы порошка. При посыпании такой смесью поверхности электрофотографич. слоя частицы порошка задерживаются на участках слоя, сохранивших заряд, и проявляют изображение. Если роль носителя играет железный порошок, то проявитель притягивается магнитом, образуя магнитную кисть. Такой кистью натирают поверхность слоя и проявляют изображение. В качестве проявителя может также использоваться аэрозоль или суспензия частиц в неполярных углеводородах. При переносе изображения бумаге, находящейся в контакте с электрофотографич. слоем, сообщается заряд, противоположный по знаку заряду частиц порошка. Под действием электрич. поля частицы порошка притягиваются к бумаге и формируют на ней изображение. Изображение закрепляется на бумаге путем оплавления порошка или его частичного растворения в парах растворителя. Остатки порошка удаляются сослоя, и он готов для повторного использования. При применении слоев из окиси цинка операция переноса отсутствует и изображение закрепляется непосредственно на слое.

В отличие от методов, использующих поверхностное заряжение фотополупроводников, Э. на фотоэлектретах основана на создании фотоэлектретного состояния (постоянной внутр. фотополяризации) в нек-рых поликристаллах, обусловленного накоплением объемных зарядов при фотопроводимости. Скрытое изображение на фотоэлектрете может быть создано как при поляризации, так и при деполяризации фотоэлектрета при освещении.

Фотоэлектреты имеют низкую светочувствительность, однако, вследствие медленной регрессии скрытого изображения, характеризуются наличием «памяти».

Известен электрофотографич. процесс на двойных слоях, в к-ром сочетается св-во «памяти» фотоэлектретов с высокой светочувствительностью. На фотополупроводниковый слой, находящийся в контакте с диэлектриком, обладающим меньшим по величине темновым электрич. сопротивлением, проецируется изображение (осн. требование к диэлектрику — наличие устойчивой темновой поляризации). Такая система помещается в конденсатор, к обкладкам к-рого подводится пост. напряжение (одна из обкладок конденсатора выполняется полупрозрачной). Очевидно, что в неосвещенных участках напряжение, приходящееся на диэлектрик, близко к нулю. В освещенных участках вследствие внутр. фотоэффекта происходит перераспределение напряжения так, что бо́льшая часть его оказывается приложенной к диэлектрику. В этих участках диэлектрик поляризуется, образуя скрытое изображение. Скрытое изображение проявляется обычными методами после отделения диэлектрика от фотополупроводника.

Простота, оперативность, отсутствие мокрых процессов позволили применить Э. во многих отраслях техники. В оперативной полиграфии для изготовления офсетных форм и получения единичных копий применяются репродукц. электрофотоустановки, напр. установка ЭРА-2 (СССР). В ней используется селеновая пластина, заключенная в кассету. Заряжение селенового слоя, проявление и перенос изображения осуществляются в процессоре (рис. 1), экспонирование изображения — в фотоаппарате, а закрепление — в отдельной камере. Для размножения технич. документации существуют аппараты с непрерывно вращающимся селеновым барабаном (см. *Электро-*

печать). По сравнению со светокопировальными аппаратами качество копий повышается и исключается необходимость в светочувствит. бумаге. Аналогичные аппараты применяются

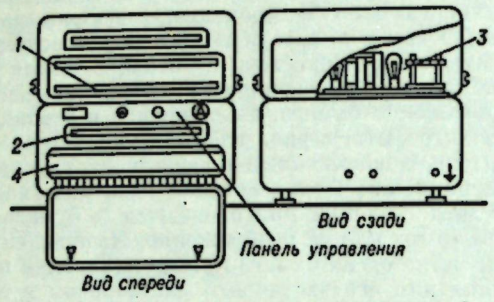


Рис. 1. Схема процессора электрофотографич. установки ЭРА-2: *1* — хранилище для кассет; *2* — зарядное устройство; *3* — высоковольтный блок; *4* — блок проявления.

за рубежом для регистрации выходных данных ЭВМ, т. к. они в 5—10 раз производительнее электромеханич. устройств. Слои из окиси цинка используются в осциллографах. Схема электрофотографич. приставки к осциллографу ПОБ-14м дана на рис. 2. Лента с фотополупроводниковым слоем сматывается с катушки *1* и заряжается коронным разрядником *2*. Луч *3*

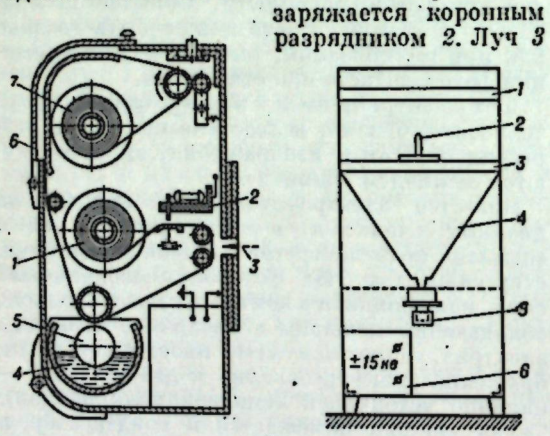


Рис. 2.

Рис. 3.

Рис. 2. Схема процессора электрофотографич. приставки к осциллографу ПОБ-14м.

Рис. 3. Схема электрографич. рентгеновской установки: *5* — мембранный опыливатель; *6* — высоковольтный выпрямитель.

от осциллографа формирует на ленте скрытое изображение, к-рое проявляется в ванночке *4* при набрызгивании проявителя валиком *5* на поверхность слоя. При выходе ленты из проявочного устройства изображение быстро высыхает и может просматриваться через окно *6*. Лента с готовым изображением поступает на катушку *7*. Характерная особенность устройства — малое время, необходимое для получения видимой записи процесса. Существуют также специализированные электрофотографич. осциллографы. Такие осциллографы предназначены для записи процессов в аварийном режиме. В нормальном режиме проявочное устройство отводится от бумажной ленты и созданное на слое скрытое изображение стирается. Т. о. осциллографы позволяют экономить светочувствит. материал. Электрофотографич. селеновые слои также применяются в рентгенографии. По сравнению с пром. рентгеновской пленкой они более чувствительны, обладают большей контрастностью, а при хранении не чувствительны к радиации. В отличие от обычной отечеств. рентгеновской установки (рис. 3) слой селена, установленного в паз *1*, заряжается неподвижным коронирующим острием *2*. После экспонирования изображения на слое *3* устанавливается в паз *3*. Скрытое изображение проявляется аэрозолем в камере *4*. Готовое изображение может переноситься на бумагу или рассматриваться на селене при косом освещении.

Э.— сравнительно новая область техники. Н.-и. работы направлены на получение более качеств. изображений, повышение чувствительности и стабильности процесса.

Лит.: Вопросы электрографии. Сб. переводов из иностр. периодич. лит-ры, сост. Е. Л. Немировский, М., 1960; Фридкин В. М., Желудев И. С., Фотоэлектреты и электрофотографический процесс, М., 1960; Подвигалкин П. М., Об одном варианте электрофотографического процесса, «Труды научн. и прикл. фотогр. и кинематогр.», 1959, т. 4, № 6, с. 461; Жилевич И. И., Немировский Е. Л., Электрофотография, М., 1961; Корнушин К. И., Применение ксерографии в рентгенодефектоскопии, «ЗЛ», 1959, № 5, с. 565. *И. В. Амфилохиев.*

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА металлов (electro-erosion treatment; usinage par électro-érosion; elektroerosive Bearbeitung) — разновидность электрофизических методов обработки материалов (см. *Электрофизическая и электрохимическая размерная обработка материалов*), основанная гл. обр. на тепловом действии импульсов электрического тока, непрерывно подводимых непосредственно к локальным участкам обрабатываемой заготовки с целью придания ей заданной формы и размеров (размерная Э. о.) или изменения структуры и качества поверхностного слоя (упрочнение или покрытие). Первичными при этом являются электрич. импульсы (электрические разряды), преобразуемые в зоне обработки в тепловые импульсы, к-рые собственно и осуществляют работу по съему металла. Вследствие импульсного характера процесса Э. о. даже при сравнительно малой средней мощности генератора достигаются большие значения мгновенной мощности и энергии электрических разрядов, достаточные для ослабления связей частиц твердого тела, отделения и эвакуации их из зоны обработки. Т. к. электрич. разряд при прочих равных условиях, возникает в последовательности, определяемой изменением мин. расстояния между взаимодействующими поверхностями электродов (условие избирательности), на электроде-заготовке отображается форма электрода-инструмента. Т. о. при размерной Э. о. необходимо соблюдать 3 осн. условия: а) импульсный подвод энергии; б) применение искрового или дугового электрич. разрядов, обеспечивающих избирательное и локальное воздействие на поверхность обрабатываемого предмета; в) соблюдение непрерывности процесса. Электрич. разряд создает кратковременно и на огранич. участке в зоне обработки высокие темп-ры, достигающие (10—11)·10³°С. Термич. эффект электрического разряда на электродах можно представить как результат совместного действия поверхностных (тепло, поступающее из канала разряда) и объемных (тепло Джоуля — Ленца) источников тепла. Под действием обоих источников из к-рых поверхностные занимают преобладающее место, на катоде и аноде образуются ванночки расплавленного металла, и часть металла испаряется.

Интенсивность полезного съема металла с одного электрода и вредного — с другого, характер механизма эвакуации, удельный расход энергии и выходные технологич. хар-ки Э. о. зависят от теплофизич. и электрич. параметров процесса: теплопроводности, теплоемкости, темп-ры и теплоты плавления и испарения, удельного веса и удельного электросопротивления материалов электродов, вида среды, в к-рой размещены электроды, и ее физико-механич. хар-к, продолжительности, амплитуды, скважности и частоты импульсов, зазора между электродами, условий эвакуации продуктов эрозии и нек-рых др. факторов.

Установка для Э. о. состоит из трех осн. элементов: а) *генератора импульсов сильного тока*, обеспечивающего непрерывное поступление на электроды импульсов напряжения с заданными частотой и параметрами; б) устройства для установления и поддержания между электродами зазора такой величины, при к-рой осуществляется непрерывное возбуждение разрядов, преобразование в зоне обработки их энергии в тепловую, съем металла и эвакуация продуктов эрозии (регулятор подачи); в) собственно станка для Э. о., содержащего необходимые устройства для установки и перемещения электродов, снабжения зоны обработки рабочей жидкостью, отсоса газов и паров, автоматизации, управления, контроля и защиты.

Различают 4 вида размерной Э. о.: *электроискровую обработку*, *электроимпульсную обработку*, *анодно-механическую обработку* и *электроконтактную обработку*. Общие черты всех видов размерной Э. о.— единство физич. механизма процесса, практич. отсутствие силового воздействия на обрабатываемое изделие, сходство кинематич. схем формообразования, возможность автоматизации процесса обработки и осуществления многостаночного обслуживания, общность принципиальных схем авторегулирования подачи, систем снабжения рабочей жидкостью и др.

Электроэрозионное упрочнение и покрытие осуществляются от электрич. зависимых и независимых генераторов в воздушной среде вибрирующим электродом-упрочнителем. Благодаря кратковременному воздействию высоких темп-р происходит своеобразная термич. обработка, перенос и диффузия легирующих элементов электрода-упрочнителя. Толщина упрочненного слоя при твердосплавном или графитовом электроде составляет 0,03—0,05 *мм*, поверхностная твердость значительно выше исходной, но ее величины колеблются, структура неоднородна, чистота поверхности низкая. Электроэрозионное упрочнение применяется для нек-рых видов инструментов и деталей машин.

Лит.: Лазаренко Б. Р., Лазаренко Н. И., Электроискровая обработка металлов, М.—Л., 1950; Гусев В. Н., Анодно-механическая обработка металлов, М.—Л., 1952; Лившиц А. Л., Рогачев И. С., Генераторы периодических импульсов сильного тока, М.—Л., 1959, Понилов Л. Я., Справочник по электрическим и ультразвуковым методам обработки материалов, М.—Л., 1963; Гуткин Б. Г., Автоматизация электроискровых и анодно-механических станков, М.—Л., 1952; Лившиц А. Л., Юхвид М. Е., Электроконтактный метод удаления дефектного слоя у слитков, «Станки и инструмент», 1959, № 4; Электроимпульсная обработка металлов, под общ. ред. А. П. Владзиевского, вып. 1, М., 1960; Лившиц А. Л., Электроэрозионная обработка металлов, М., 1957. *А. Л. Лившиц.*

ЭЛЕМЕНТ ЛОГИЧЕСКИЙ ц в м (logical element; élément logique; logisches Element) — простейшая в функциональном отношении схема, имеющая n входов и m выходов (обычно $m = 1$) для сигналов дискретной двоичной природы, значения выходных сигналов к-рой однозначно определяются некой логич. зависимостью от входных сигналов. Различают два важных класса Э. л.: 1) комбинационные (решающие), выходные сигналы к-рых в какой-то момент времени определяются комбинацией входных сигналов, действующих в тот же момент времени, и 2) элементы запоминания (памяти), значения выходных сигналов к-рых определяются временной последовательностью комбинаций входных сигналов, т. е. состоянием схемы к моменту действия данной комбинации. Для элементов запоминания зависимость выходных сигналов от входных выражается логич. последовательностными (непримитивными, временными) ф-циями и может быть описана таблицей состояний, к-рая фиксирует изменение ф-ций при любом изменении входных сигналов или при изменении порядка их появления [1]. Для комбинац. Э. л. эта зависимость определяется законом функционирования элемента и описывается системой переключат. ф-ций. Для Э. л. с одним выходом это будет одна переключат. ф-ция, число аргументов к-рой равно числу входов элемента. Закон функционирования комбинац. Э. л. может задаваться аналитически с помощью операций логич. связей (см. *Алгебра логики*) входных переменных и таблично с помощью таблиц истинности. Число всех возможных переключат. ф-ций, зависящих от n аргументов, равно 2^{2^n}, и с увеличением n число переключат. ф-ций или число возможных типов Э. л. быстро увеличивается. Из всего множества ф-ций можно выделить ряд «элементарных» ф-ций одного и двух аргументов, к-рые получили наибольшее распространение при синтезе переключающихся схем и имеют простую логич. интерпретацию. К этим элементарным ф-циям относятся: 1) $\overline{X}$ — отрицание, или инверсия X (не X). Э. л., реализующий эту ф-цию, наз. *инвертором*, или элементом «не»; 2) $X_1 \cdot X_2$ — конъюнкция, или логич. произведение (X_1 и X_2). Э. л., реализующий эту ф-цию, наз. *совпадения схемой*, или элементом «и»; 3) $X_1 \vee X_2$ — дизъюнкция, или логич. сложение (X_1 или X_2). Э. л., реализующий эту ф-цию, наз. *собирательной схемой*, или элементом «или»; 4) $X_1 \Delta X_2$ — ф-ция запрета по X_2, канонич. форма к-рой запишется в виде $X_1 \cdot \overline{X_2}$ и читается «неверно, что если X_1, то X_2». Эта ф-ция реализуется *запрета схемой*, входы к-рой обычно неравнозначны. На запрещающие входы подаются сигналы большей длительности, чем сигналы на разрешающих (меченых) входах; 5) $X_1 \downarrow X_2$ — операция Г, или операция Пирса (стрелка Пирса), ее канонич. форма запишется в виде $\overline{X_1} \cdot \overline{X_2}$ и читается «ни X_1, ни X_2». Элемент, реализующий операцию Пирса, наз. элементом Г; 6) $X_1 | X_2$ — операция Шеффера. Ее канонич. форма имеет вид $\overline{X_1} \vee \overline{X_2}$ и читается «неверно, что X_1 и X_2» Э. л., реализующий ф-цию Шеффера, наз. элементом Ш.

Отдельный класс Э. л. составляют пороговые элементы, частный случай к-рых — мажоритарные элементы, работающие по принципу большинства. Мажоритарный Э. л. (схема M) может рассматриваться как элемент с одним выходом и n входами для двоичных сигналов, где n — нечетно. Схема M, имеющая три входа

X_1, X_2, X_3, реализует переключат. ф-цию $M(X_1, X_2, X_3) = X_1 \cdot X_2 \vee X_1 \cdot X_3 \vee X_2 \cdot X_3 = X_1 \# X_2 \# X_3$, т. е., если на большинство входов схемы подан единичный сигнал, то на выходе схемы устанавливается единичный сигнал. Мажоритарные элементы широко применяются в вычислит. технике при построении надежных переключающих схем. Условное графич. изображение Э. л. см. *Вычислительных машин символика*, принципиальные схемы нек-рых типов Э. л.— в ст. *Логический элемент*.

Набор Э. л., с помощью к-рого можно построить (синтезировать) логич. схему ЦВМ любой сложности, наз. функционально полным. Функционально полным является набор, состоящий из элементов «и», «или», «не» [2]. Этот набор наз. основным, поскольку из элементов осн. набора можно построить любую схему, содержащую наименьшее количество компонентов по сравнению с др. наборами.

Для массового произ-ва ЦВМ необходимо иметь возможно меньшее число различных типов Э. л. Универс. элементом, или схемой, наз. такой Э. л., с помощью к-рого может быть построена логич. схема любой сложности без использования Э. л. др. типов (исключая вспомогат. элементы). К универс. Э. л. можно отнести элемент Г и элемент Ш. Поскольку синтез схем на универс. элементах не является оптимальным в отношении аппаратурных затрат, эти элементы, как правило, используются в сочетании с другими — напр. «не», «или». Широко распространены универс. элементы, состоящие из комбинации Э. л. типа «и» или типа «или» с элементом «не», это — т. н. элементы «не — или» («нор» от англ. no — or) и элементы «не — и» («нанд» от англ. no — and).

Конкретное применение того или иного типа Э. л. или набора элементов определяется физич. природой используемых элементов и логич. гибкостью при синтезе сложных схем. Напр., наиболее рациональным, функционально полным набором Э. л. для синтеза схем на параметрич. элементах считают набор, содержащий мажоритарный Э. л., инвертор, генераторы нулей и единиц (эквиваленты логич. ф-ций — константа нуль и константа единица); для синтеза схем на ферритах, ферритдиодных, ферриттранзисторных и диодно-трансформаторных элементах — набор, включающий Э. л. запрета со многими входами, элемент «или» и генератор единиц.

Важную роль для временно́го функционирования схем ЦВМ и временно́го согласования работы различных схем играют элементы запоминания или элементы задержки, к-рые должны входить в наборы Э. л. Двоичный Э. л. запоминания способен хранить одну двоичную единицу́ информации. В синхронных схемах элементы запоминания хранят информацию в течение одного или более временны́х интервалов, и информация передается в момент действия синхронизирующих (тактовых) сигналов. В асинхронных схемах элементы запоминания хранят информацию от момента действия одного входного сигнала до следующего. Э. л. запоминания с двумя устойчивыми состояниями (триггер) может оставаться неопределенно долгое время в данном состоянии при отсутствии входных сигналов, т. е. может использоваться и в синхронных, и в асинхронных схемах. К этому классу Э. л. относятся также элементы временно́й задержки, к-рые широко применяются в ЦВМ. Э. л., выполняющие, кроме логич. ф-ций, ф-цию усиления, наз. активными, а Э. л., не обладающие св-вом усиления,— пассивными. Классификацию Э. л. см. в ст. *Элементов системы ЦВМ*. Развитие Э. л. идет по пути разработки новых быстродействующих, малогабаритных, высоконадежных элементов.

Лит.: 1) Васильева Н. П., Гашкова И. С., Логические элементы в промышленной автоматике, М.—Л., 1962; 2) Вавилов Е. Н., Поспелов Г. П., Синтез схем электронных цифровых машин, М., 1963.

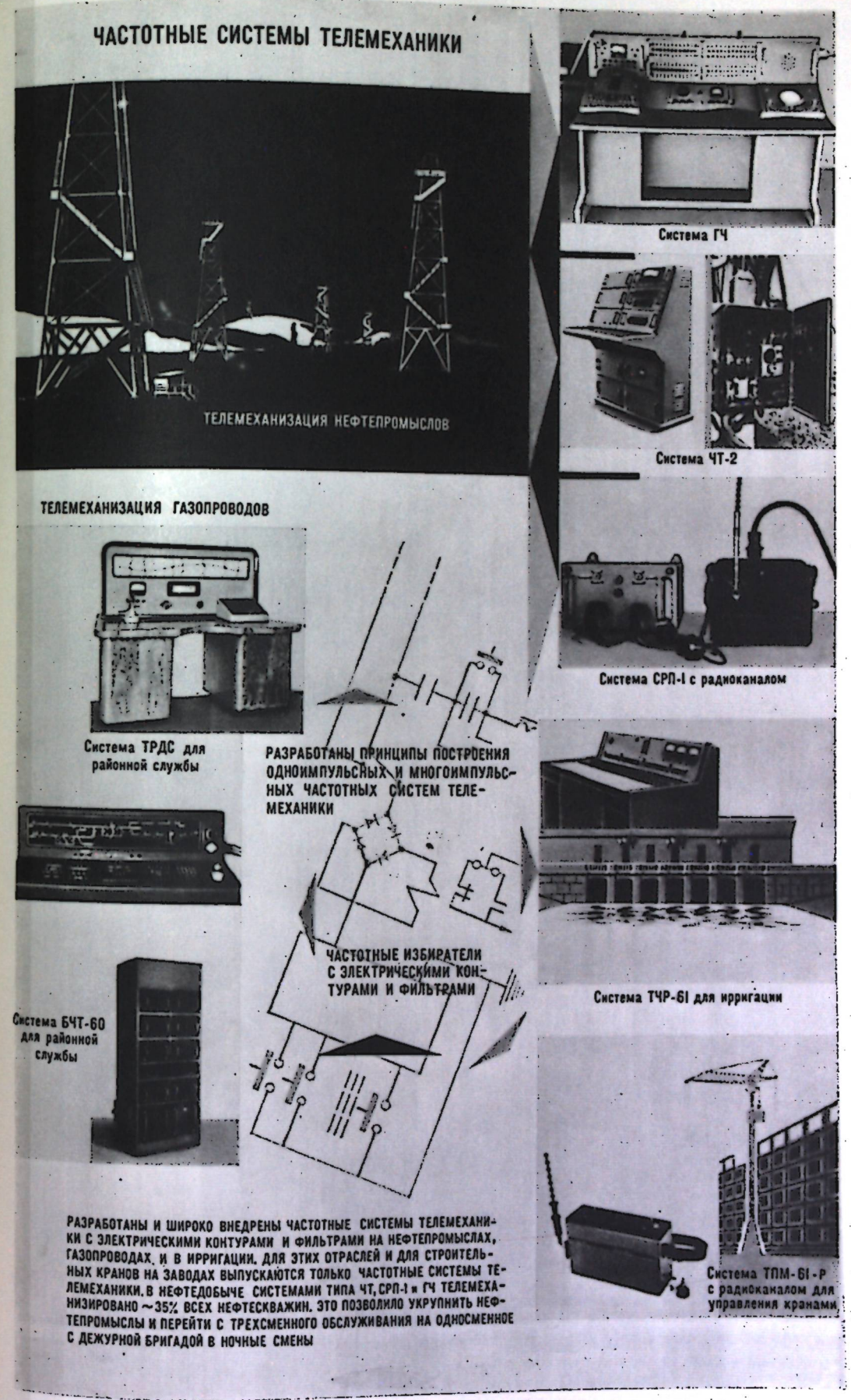
Г. Б. Сидоров

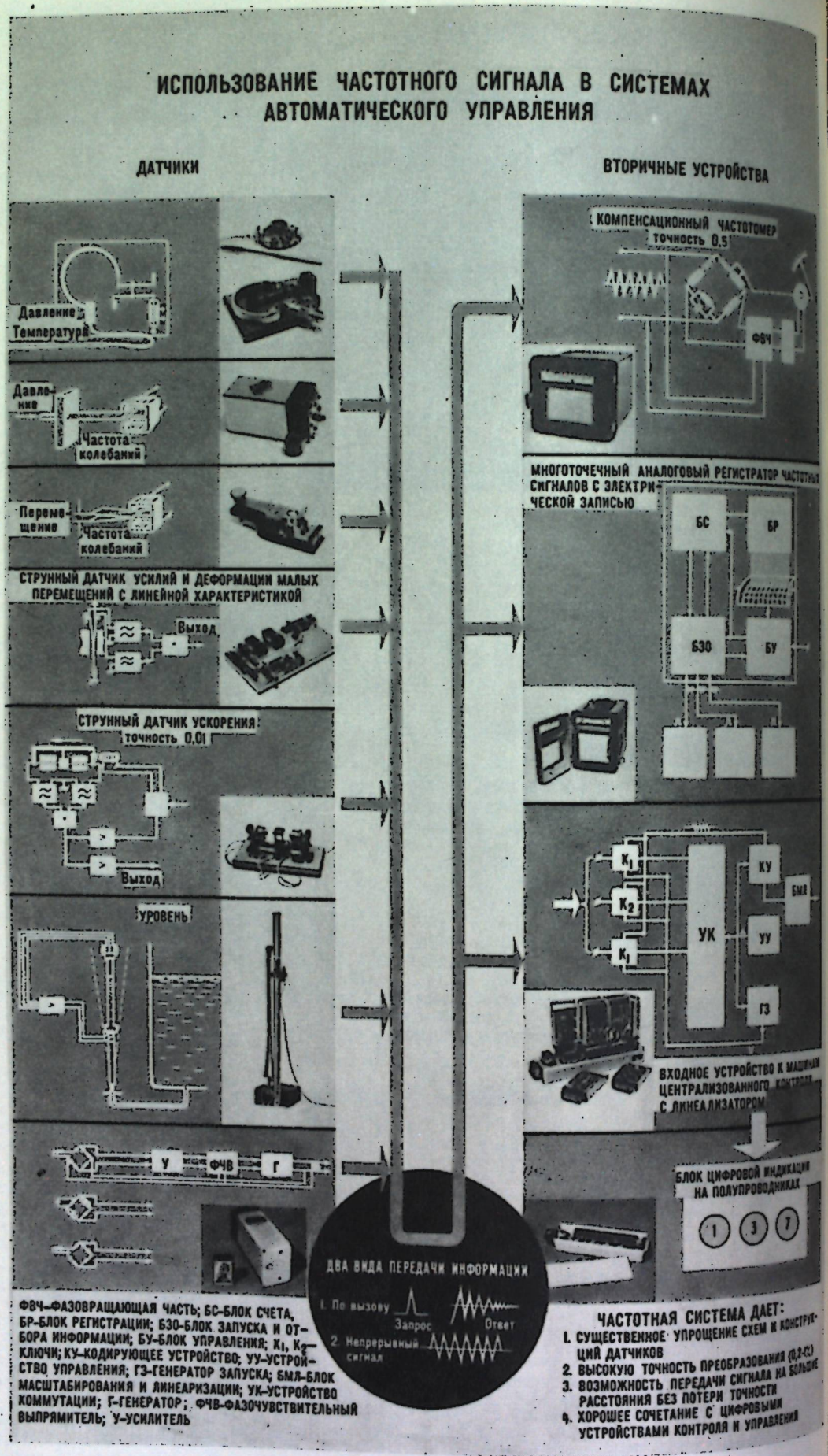
ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМА ЦВМ (the system of elements in a digital computer; système d'éléments d'une machine numérique; Bausystem eines Digitalrechners) — функционально полный набор простейших схем (элементов), взаимосвязанных по электрич. и логич. входам, с помощью к-рого выполняются все основные и вспомогат. ф-ции в цепях цифровых машин. Выбор Э. с. ЦВМ в значит. степени определяет быстродействие, надежность, габариты, потребляемую мощность и стоимость машины в целом. Осн. требование к Э.с.ЦВМ — требование ее функцион. полноты: система должна содержать такой минимум типов логич. элементов, к-рый позволил бы построить логическую цепь любой сложности. С др. стороны, Э. с. ЦВМ должна содержать также необходимое число вспомогат. элементов, к-рые позволили бы учесть все электрич. особенности взаимосвязанной работы в машине логич. элементов. Т. о., Э. с. ЦВМ содержит 2 класса элементов — логические, с помощью к-рых реализуются все логич. и арифметич. ф-ции, и вспомогательные, служащие для усиления, генерирования, формирования, фазирования сигналов, т. е. для обеспечения условий, необходимых для работы логич. элементов. Для многих Э. с. ЦВМ характерно совмещение логич. ф-ций и ф-ций усиления и формирования в одном осн. элементе, называемом активным логич. элементом.

По характеру работы Э. с.ЦВМ разделяются на синхронные и асинхронные. В первых — время прохождения сигнала от входа к выходу элемента задается нек-рым внешним источником тактовых сигналов, тогда как во вторых время задержки (запаздывания) определяется физич. св-вами самого элемента.

По типу связей между элементами системы различают Э. с. ЦВМ: 1) с потенциальными (гальваническими) связями, когда между элементами есть связь по пост. току (напр., система с непосредств. связями, система на переключателях тока, система триодно-реостатных и триодно-диодных логич. элементов «не — или» и «не—и», система элементов с реостатно-емкостной связью); 2) с импульсными связями, когда между элементами отсутствует связь по пост. току (система магнитодиодных элементов, магнитотриодных элементов, систем параметрич. элементов и др.); 3) с импульсно-потенц. связями (наиболее распространены системы диодно-реостатных и диодно-трансформаторных элементов с усилителями, некоторые типы ферриттранзисторных Э. с. и др.).

По способу представления (выражения) информации различают уровневые (амплитудные) и фазовые (параметрические) Э. с. ЦВМ, и наряду с этим статич. и динамич. системы. Магнитные Э. с. ЦВМ можно разделить также по принципу действия на гистерезисные (ферриттранзисторные и ферритдиодные), магнитно-модуляционные (в сердечнике не менее двух





взаимодействующих магнитных полей), параметрические (использующие нелинейный характер кривой намагничивания).

По используемым физич. принципам Э. с. ЦВМ можно разделить на электромеханические (релейные), электронные, ПП, электронно-ПП, магнитно-ПП, магнитные, параметрические, электроннооптические, пневматические и др.

Сравнение различных Э. с. ЦВМ и выбор оптимальной для нек-рого конкретного применения системы можно проводить по: быстродействию (или запасу по быстродействию — отношению предельной рабочей частоты к номинальной) и задержке на осн. элемент; количеству используемых типов элементов; нагрузочной способности элементов или величине коэфф. разветвления на выходе; величине коэфф. объединения на входе; допустимому температурному диапазону и допустимым отклонениям питающих напряжений и деталей от номинальных значений; количеству типономиналов деталей в Э. с. ЦВМ; потребляемой мощности; надежности элементов (хар-ки полного отказа — λ-хар-ки, вероятность безотказной работы в течение определ. промежутка времени) и стоимости. Выбор Э. с. ЦВМ основывается на учете всех этих параметров, однако относит. важность того или иного параметра определяется конкретным применением данной системы элементов. Так, для бортовых ЦВМ первостепенную роль играет надежность, затем габариты элементов, потребляемая мощность и т. д. Для ЦВМ, использующихся для экономич. расчетов, основным будет стоимость, затем быстродействие, надежность и т. д.

Пример. В системе элементов, с помощью к-рой можно строить различные узлы и устройства вычислит. техники и дискретной автоматики [1], осн. логич. элементом является импульсный усилитель с импульсно-потенциальной диодно-трансформаторной схемой «и — или» на входе. В систему входят также статич. триггер в качестве элемента запоминания и потенциальные логич. схемы «и — или». Вспомогат. элементами служат одновибратор для формирования временных интервалов, инвертор и эмиттерный повторитель для развязки триггеров (как выходные элементы), для усиления сигналов с потенциальных логич. схем (подобная система элементов используется в машинах «Раздан» и «Днепр»). Технич. хар-ки элементов: рабочая частота до 50 *кгц*, темп-ра окружающей среды от —5° С до +50° С, допустимые колебания питающих напряжений ±10% от номинальных значений, допустимая амплитуда помехи ок. 1 *в*. Параметры импульсных сигналов: длительность 0,8—2,5 *мксек*, амплитуда ок. 7 *в*, потенциальные сигналы имеют низкий уровень 7,5 *в* и высокий 0,5 *в*. Конструктивно элементы выполнены в виде ячеек размерами 60 × 60 × × 12 *мм*^{3} с печатным монтажом и навесными радиодеталями.

В 1958—61 была разработана система феррит-транзисторных элементов с тактовой частотой до 130 *кгц* [2]. Использование в последующем вместо феррита марки ВТ-5 микронных сердечников из пермаллоевой ленты [3] значительно улучшило хар-ки Э. с. ЦВМ: тактовая частота элементов стала 300 *кгц*, температурный диапазон от —40° до +60° С, система элементов сохраняет работоспособность при допустимом отклонении питающих напряжений ±20%. Система состоит из 3 элементов: элемента запрета (вентиля несовпадения), к-рый используется в схемах как запоминающий элемент; элемента совпадения, к-рый дает возможность гибкого построения логич. цепей, более экономичных и быстродействующих; мощного запоминающего элемента, нагрузочная способность к-рого в 4—5 раз превышает нагрузочную способность осн. элемента. На базе такой Э. с. ЦВМ можно строить различные устройства вычислит. техники и дискретной автоматики в подвижном варианте, работающие в условиях механич. перегрузок и широкого диапазона изменения темп-р окружающей среды.

Дальнейшее развитие Э. с. ЦВМ связано с применением элементов СВЧ диапазона: параметрич. генераторов; сверхтонких магнитных пленок; элементов, использующих электромагнитные волны оптич. диапазона частот; элементов, использующих туннельный эффект. Практич. построение подобных систем связано с задачей разработки такого технологич. процесса, к-рый обеспечил бы постоянство технич. хар-к элементов. Эта задача решается на базе *микроминиатюризации* созданием тонкопленочных микросхем и интегральных схем на принципах *молекулярной электроники*.

Лит.: 1) «Автоматика и приборостроение», Киев, 1964, № 2 (18); 2) Никитин Ю. В. [и др.], Комплекс феррит-транзисторных элементов, М., 1963; 3) Бережной Е. Ф. [и др.], Логические элементы на полупроводниковых триодах и сердечниках из пермаллоевой ленты, М., 1963. См. также лит. при ст. *Элемент логический* ЦВМ. *Г. Б. Смирнов.*

ЭМИТТЕРНЫЙ ПОВТОРИТЕЛЬ (emitter follower; suiveur d'émetteur; Emitterfolger) — усилитель мощности на транзисторе, включенном по схеме с общим коллектором. Термин «Э. п.» образован по аналогии с катодным повторителем на электронной лампе, поскольку обе схемы идентичны по способу включения нагрузки и обеспечивают высокое входное и низкое выходное сопротивления при неизменной фазе выходного напряжения и коэфф. усиления по напряжению $k_u < 1$. Указанные особенности определяют область применения Э. п. в качестве согласующего элемента между высокоомным источником сигнала и низкоомной нагрузкой. В схеме Э. п. (рис. 1) сопротивления делителя R_1, R_2 служат для температурной стабилизации рабочей точки; $R_э$ — сопротивление в эмиттере, $R_г$ — сопротивление источника сигнала, $R_н$ — сопротивление нагрузки, $C_н$ — емкость нагрузки.

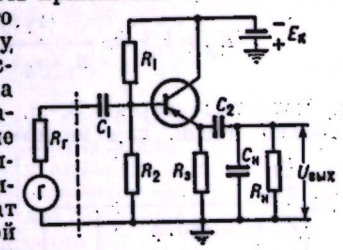


Рис. 1. Принципиальная схема эмиттерного повторителя.

Для НЧ осн. параметры Э. п. связаны с элементами схемы и параметрами транзистора след. приближенными соотношениями.

1) *Сопротивление входное*:

$$R_{вх} \approx r_б + (1+\beta)\frac{R_н R_э}{R_н + R_э},$$

где $r_б$ — сопротивление базы транзистора, β — коэфф. усиления по току в схеме с общим эмиттером. В отличие от катодного повторителя, у Э. п. $R_{вх}$ достигает 0,5—1 *Мом*

только в пределе, когда сопротивление в эмиттере равно бесконечности (при $R_э \leqslant 10^4$ *ом*, $R_{вх}$ порядка 10^5 *ом*). Для хорошей термостабилизации желательно брать $R_э = R_1R_2/(R_1+R_2)=R_э'$. С др. стороны, для увеличения $R_{вх}$ необходимо иметь $R_1 \| R_2 > \beta R_э'$. Удовлетворить этим условиям можно при $R_э > \beta R_н$. Однако большое значение $R_э$ затрудняет установление необходимого режима по пост. току. Поэтому при расчете сопротивлений делителя R_1, R_2 приходится выбирать между хорошей термостабилизацией или большим $R_{вх}$. С ростом частоты входное сопротивление убывает: $Z_{вх} \approx R_{вх}/(1+j\frac{\omega}{\omega_в})$, где $\omega_в \approx \omega_\alpha/\beta$, ω_α — критич. частота транзистора в схеме с общей базой (см. *Сопротивление входное*).

2) Выходное сопротивление:

$$R_{вых} \approx r_э + \frac{R_г + r_б}{1+\beta},$$

где $r_э$ — сопротивление эмиттерного перехода транзистора. При низкоомном источнике ($R_г < r_б$) и большом β $R_{вых}$ достигает миним. величины. При $R_г \to \infty$ $R_{вых} \approx r_э$. Поскольку обычно $R_г \leqslant 2$—5 *ком*, то $R_{вых}$ Э. п. в зависимости от режима лежит в интервале 10—200 *ом*.

3) Коэфф. усиления по напряжению

$$k_и = \frac{(1+\beta)\,R_э'}{R_г + r_б + (1+\beta)\,R_э},$$

откуда видно, что $k_и$ сильно зависит от величины сопротивления источника сигнала $R_г$. При $R_г \to 0$ $k_и$ достигает макс. величины, порядка 0,99. При $R_г = 1$—2 *ком* $k_и \leqslant 0{,}95$.

4) Коэфф. усиления по току

$$k_i = (1+\beta)\frac{R_г}{R_г + R_{вх}}$$

растет с увеличением $R_г$. При $R_г \gg R_{вх}$ и $R_н \ll R_э$ $(k_i)_{макс} = 1+\beta$.

5) Коэфф. усиления по мощности больше единицы и равен:

$$K_p = k_и k_i \approx \frac{(1+\beta)^2 R_э'}{R_г + r_б + (1+\beta)\,R_э}.$$

Частотные хар-ки Э. п. определяются не только инерц. св-вами самого транзистора, но и существенно зависят от величины коллекторной емкости $C_к$ и емкости нагрузки $C_н$. На рис. 2 показаны типичные частотные хар-ки коэфф. усиления по напряжению $k_и$. Частотные хар-ки Э. п. улучшаются при уменьшении сопротивления $R_г$. Обычно предельная частота $\omega_в$, на к-рой $k_и/k_{и0} = 0{,}7$, составляет 20—25 *кгц* для сплавных триодов и 200 *кгц* — 1 *Мгц* для дрейфовых,

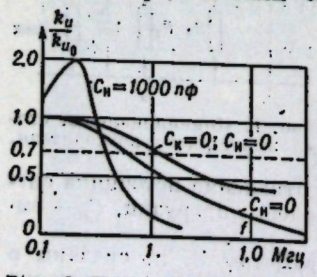


Рис. 2. Частотные хар-ки коэфф. усиления по напряжению $k_и$ для различных значений емкости нагрузки $C_н$.

Лит.: Степаненко И. П., Основы теории транзисторов и транзисторных схем, М.—Л., 1963.

К. С. Ржевкин.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО БАЛАНСА МЕТОД (power balance method; méthode du bilan énergetique; Methode der Energiebilanz) — метод нахождения приближенного периодич. решения нелинейного дифференц. ур-ния с малым параметром. Осн. применение Э. б. м. находят при отыскании процесса установления и параметров автоколебат. режима в нелинейной колебат. системе, описываемой дифференц. ур-нием вида:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + kx = \varepsilon f\left(x, \frac{dx}{dt}\right), \quad (1)$$

где m, k — положит. величины, ε — малый параметр. Э. б. м. применим для рассмотрения систем, о к-рых заранее известно, что колебания в них близки к гармоническим. Предположим, что в первом приближении из уравнения (1)

$$x = a\cos\psi, \quad (2)$$

где a, ψ — нек-рые ф-ции времени t. Задача сводится к отысканию выражений, из к-рых могут быть найдены неизвестные ф-ции $a(t)$ и $\psi(t)$.

Нелинейный член в (1)

$$F = \varepsilon f\left(x, \frac{dx}{dt}\right) \quad (3)$$

представим в виде нек-рого эквивалентного линейного члена

$$F_e = -\left[k_1(a)\,x + \lambda_e(a)\frac{dx}{dt}\right], \quad (4)$$

где $k_1(a)$ в сумме с величиной k — эквивалентный коэфф. упругости, см. (9); $\lambda_e(a)$ — эквивалентный коэфф. затухания. Величину F можно рассматривать как нек-рую силу, действующую на линейную колебат. систему. Эквивалентность выражений (3) и (4) будем понимать в том смысле, что средние (за период колебания) мощности, развиваемые реальной (3) и эквивалентной (4) силами, равны с точностью до величин порядка малости ε^2. Приравнивая друг к другу мощности, развиваемые силами (3) и (4), получаем:

$$\varepsilon\int_0^T f\left(x, \frac{dx}{dt}\right)\frac{dx}{dt}\,dt = -\lambda_e(a)\int_0^T\left(\frac{dx}{dt}\right)^2 dt, \quad (5)$$

где T — период колебания. С точностью до величин порядка малости ε можно положить в течение интервала времени $2\pi/\omega$

$$x = a\cos(\omega t + \vartheta), \quad \frac{dx}{dt} = -a\omega\sin(\omega t + \vartheta), \quad (6)$$

где a и ϑ — постоянные в течение этого интервала. С такой же точностью ω будет частотой колебаний, а $T = 2\pi/\omega$ — периодом. Тогда с точностью до величин 2-го порядка малости из выражения (5)

$$\lambda_e(a)\,\pi\omega^2 a^2 = \varepsilon a\int_0^{2\pi} f(a\cos\psi, -a\omega\sin\psi)\sin\psi\,d\psi. \quad (7)$$

Приравнивая реактивные мощности для сил (3) и (4), получим:

$$k_1(a) = -\frac{\varepsilon}{\pi a}\int_0^{2\pi} f(a\cos\psi, -a\omega\sin\psi)\cos\psi\,d\psi. \quad (8)$$

Дифференц. ур-ние системы с эквивалентной линейной силой имеет вид:

$$m\frac{d^2x}{dt^2} + \lambda_e(a)\frac{dx}{dt} + k_e(a)\,x = 0, \quad (9)$$

где $k_e(a) = k + k_1(a)$ — эквивалентный коэфф. упругости.

Из ур-ния (9), используя общепринятые выражения декремента затухания и частоты для линейных колебат. систем:

$$\left.\begin{aligned} \frac{da}{dt} &= -\frac{\varepsilon}{2\pi\omega m}\int_0^{2\pi} \times \\ &\times f(a\cos\psi,\ -a\omega\sin\psi)\sin\psi\,d\psi, \\ \frac{d\psi}{dt} &= \omega_e(a),\ \omega_e^2(a) = \frac{k}{m} - \frac{\varepsilon}{\pi a m}\int_0^{2\pi} \times \\ &\times f(a\cos\psi,\ -a\omega\sin\psi)\cos\psi\,d\psi. \end{aligned}\right\} \quad (10)$$

Лит.: Крылов Н. М., Боголюбов Н. Н., Введение в нелинейную механику, Киев, 1937; Боголюбов Н. Н., Митропольский Ю. А., Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний, 3 изд., М., 1963; Теодорчик К. Ф., Автоколебательные системы, 3 изд., М.—Л., 1952.

С. Д. Земляков.

ЭНТРОПИЙНАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ (entropic stability; stabilité entropique; Entropie-Stabilität) — хар-ка изменения во времени энтропии H координат динамич. системы при случайных начальных условиях. Различают Э. у. и монотонную Э. у. Непрерывная динамическая система [вектор ее состояния $x = (x_1, x_2, \ldots, x_n)$], не подверженная влиянию постоянно действующих случайных возмущений, обладает Э. у., если при произвольном начальном законе распределения координат $f^0 = f(x_1, x_2, \ldots, x_n, t_0)$ энтропия этих координат $H(t) =$

$$= -\int_{-\infty}^{\infty}\ldots\int_{-\infty}^{\infty} f(x_1,\ldots,x_n,t)\ln f(x_1,\ldots,x_n,t)\,dx_1,\ldots,dx_n$$

стремится к $-\infty$ при $t \to \infty$. Та же система обладает монотонной Э. у., если $H(t)$ монотонно убывает с течением времени, т. е. $\dot{H}(t) < 0$ при любых $t \geqslant t_0$.

Для системы, описываемой дифференциальными ур-ниями вида

$$\dot{x}_i + F_i(x_1, x_2, \ldots, x_n, t) = 0 \quad (i = 1, 2, \ldots, n),$$

где F_i — дифференцируемые ф-ции, при достаточно общих условиях [2, 3] производная по времени энтропии равна сумме математич. ожиданий частных производных: $-\frac{\partial F_i}{\partial x_i}$: $\dot{H} = -\sum_{i=1}^{n} M\left[\frac{\partial F_i}{\partial x_i}\right]$. Т. о., необходимые и достаточные условия Э. у. и монотонной Э. у. соответственно:

$$\lim_{t\to\infty}\sum_{i=1}^{n}\int_{t_0}^{t} M\left[\frac{dF_i}{dx_i}\right]dt = \infty;\ \sum_{i=1}^{n} M\left[\frac{dF_i}{dx_i}\right] > 0.$$

при произвольном f^0.

Для линейных систем с постоянными неслучайными коэфф. оба эти условия превращаются в одно: $\sum_{i=1}^{n} a_{ii} > 0$, где a_{ii} — диагон. элементы матрицы коэффициентов и $\sum_{i=1}^{n} a_{ii}$ равна сумме корней характеристич. ур-ния системы.

Энтропия системы H служит лишь весьма общей хар-кой ее состояния или движения при массовых испытаниях. Энтропия совокупности координат может уменьшаться и даже стремиться к $-\infty$ при возрастании дисперсий нек-рых из этих координат за счет стремления коэффициентов корреляции между координатами к единице. Система, обладающая Э. у., может быть неустойчивой в обычном смысле. Обратного положения быть не может: энтропийно неустойчивая система заведомо неустойчива в обычном смысле, по крайней мере при больших отклонениях.

Лит.: 1) Красовский А. А., Энтропийная устойчивость линейных непрерывных систем автоматического управления, «ИАН СССР. Техническая кибернетика», 1963, № 5; 2) его же, Изменение энтропии непрерывных динамических систем, там же, 1964, № 5; 3) его же, Об энтропийной устойчивости динамических систем, «АиТ», 1965, № 3.

А. А. Красовский.

ЭНТРОПИЯ в теории информации (entropy; entropie; Entropie) — мера неопределенности ситуации (случайной величины) с конечным или счетным числом исходов. Пример неопределенной ситуации — опыт с неск. возможными исходами. Неопределенность заключается в том, что до проведения опыта в точности неизвестен его результат.

Если опыт имеет N равновероятных исходов, то Э. определяется следующим образом:

$$H = \log N. \quad (1)$$

Это определение хорошо согласуется с интуитивными представлениями: неопределенность тем больше, чем больше возможных исходов. Оно обладает важным св-вом аддитивности: Э. сложного опыта равна сумме Э. простых опытов.

Пример: сложный опыт, состоящий из двух простых с N_1 и N_2 исходами соответственно, имеет $N = N_1N_2$ исходов [так, подбрасывая монету (2 исхода) и игральную кость (6 исходов), будем иметь 12 возможных исходов и т. п.]. Если исходы 1-го и 2-го опытов независимы и равновероятны, то все исходы сложного опыта равновероятны и $H = \log N = \log N_1 + \log N_2 = H_1 + H_2$. Выбор основания логарифма в ф-ле (1) определяет единицы измерения неопределенности (см. *Информации единица*). Когда основание равно двум, единицы называют двоичными.

В случае неравновероятных исходов опыта Э. подсчитывается по ф-ле (1):

$$H = -\sum_i P_i \log P_i, \quad (2)$$

где P_i — вероятность i-того исхода. Ф-ла (2) может быть использована и для бесконечного числа исходов, если сумма по i сходящаяся.

Вместо опыта с различными исходами можно говорить о дискретной случайной величине ξ с возможными значениями $x_1, x_2, \ldots, x_i, \ldots$, имеющими вероятности $P_1, P_2, \ldots, P_i, \ldots$. Тогда ф-ла (2) определяет Э. этой случайной величины. Определенная т. о. мера неопределенности, соответствующая данному закону распределения, зависит только от величин вероятностей и не зависит от числ. значений, к-рые может принимать случайная величина.

Определенная указанным образом величина Э. обладает св-вами, согласующимися с интуитивными представлениями о неопределенности опыта: 1) $H = 0$ только тогда, когда $P_k = 1$, а остальные $P_i = 0$; $i \neq k$. В этом случае неопределенность отсутствует, т. к. всегда осуществляется k-тый исход; 2) Э. тем больше, чем ближе распределение вероятностей к равномерному (для конечного числа исходов). При $P_i = 1/N$ $(i = 1, 2, \ldots, N)$ Э. достигает

макс. значения $H = \log N$. Э. обладает важным св-вом аддитивности: пусть нек-рый опыт A имеет N исходов: $x_1, \ldots, x_n$, а другой опыт B — M исходов: $y_1, \ldots, y_m$. Обозначим через $P(x_i, y_j)$ вероятность того, что сложный опыт дает исход x_i, y_j:

$$P(x_i, y_j) = P(x_i)\, P_i(y_j) = P(y_j)\, P_j(x_i), \quad (3)$$

где $P(x_i)$, $P(y_j)$ — вероятности (безусловные) исходов x_i и y_j простых опытов A и B; $P_i(y_j)$ — условная вероятность исхода y_j опыта B при условии, что опыт A имел исход x_i. Аналогичный смысл имеет $P_j(x_i)$. Э. сложного опыта, согласно (2), равна:

$$H(AB) = -\sum_i \sum_j P(x_i, y_j) \log P(x_i, y_j). \quad (4)$$

Используя (3), найдем:

$$H(AB) = H(A) + H_A(B) = H(B) + H_B(A),$$

где $H(A) = -\sum_i P(x_i) \log P(x_i)$;

$$H(B) = -\sum_i P(y_j) \log P(y_j);$$

$$H_A(B) = -\sum_i \sum_j P(x_i y_j) \log P_i(y_j) =$$

$$= \sum_i P(x_i) \left\{ -\sum_j P_i(y_j) \log P_i(y_j) \right\}.$$

Это ср. условная Э., т. е. неопределенность в исходе опыта B, если известен исход A, усредненная по всем исходам A. Аналогичный смысл имеет $H_B(A)$. Можно показать, что

$$H(AB) \leqslant H(A) + H(B), \quad (5)$$

откуда следует, что

$$H_B(A) \leqslant H(A); \quad H_A(B) \leqslant H(B). \quad (6)$$

Неравенства (6) означают, что неопределенность опыта может только уменьшаться от знания исхода нек-рого др. опыта. Равенство в ф-лах (5) и (6) имеет место только тогда, когда A и B — независимые опыты. В этом случае $P(x_i y_j) = P(x_i) P(y_j)$ и из (4) следует

$$H(AB) = H(A) + H(B). \quad (7)$$

До проведения нек-рого опыта A была неопределенность в исходе — $H(A)$. После проведения, когда исход стал известен, неопределенность исчезла. За меру количества информации, содержащейся в знании исхода опыта A, принимают количество «снятой» неопределенности. Таким образом, $H(A)$ есть ср. количество информации в сообщении об исходе опыта A. Если в результате поступления информации неопределенность в исходе осталась, естественно считать, что количество поступившей информации равно разности априорной (доопытной) и апостериорной (послеопытной) неопределенности.

Пусть, напр., произведен опыт B, от к-рого зависят вероятности исходов опыта A. Неопределенность опыта A уменьшилась с $H(A)$ до $H_B(A)$. Следовательно, $H(A) - H_B(A)$ есть количество информации об опыте A, заключенной в сообщении об исходе B (см. *Информации количество*).

В теории информации *источник сообщений* с дискретным множеством состояний описывается нек-рой последовательностью дискретных случайных величин.

Символ сообщения — значение случайной величины — это исход нек-рого испытания. Совокупность символов наз. алфавитом. Количество информации, создаваемое источником, измеряется Э. на символ или Э. на единицу времени (в последнем случае говорят о скорости создания сообщений). Если сообщение есть последовательность независимых символов, то Э. источника вычисляется по ф-ле (2).

Для источника, у к-рого $P_\alpha(x_i)$ — вероятность появления символа x_i — зависит от предшествующего отрезка сообщения B_α или от состояния источника, Э. определяется согласно следующему выражению:

$$H = -\sum_\alpha P(B_\alpha) \sum_i P_\alpha(x_i) \log P_\alpha(x_i), \quad (8)$$

где $P(B_\alpha)$ — распределение вероятностей предшествующего отрезка или состояний. В частности, если источник сообщения есть простая марковская цепь с матрицей переходных вероятностей $\|P_i(j)\|$ [$P_i(j)$ — вероятность появления символа x_j после символа x_i], то

$$H = -\sum_i \sum_j P(i)\, P_i(j) \log P_i(j),$$

где $P(i)$ — безусловная вероятность символа x_i.

Неравномерность распределения вероятностей появления символов [$P(x_i)$ или $P_\alpha(x_i)$] вызывает уменьшение Э. по сравнению с макс. значением Э. для данного алфавита, т. е. порождает *избыточность*.

Скорость создания сообщений R подсчитывается таким образом:

$$R = H/\tau \text{ двоичных единиц/сек.},$$

где τ — длительность символов, а H определяется выражением (8) или (2). Если символы имеют неодинаковую длительность, то

$$\tau = \sum P(i)\, \tau_i,$$

где τ_i — длительность i-того символа.

В случае непрерывного множества исходов нек-рого опыта или значений случайной величины случайная величина ξ описывается плотностью распределения вероятностей $P(x)$. В этом случае по аналогии с (2) можно написать

$$h(\xi) = -\int_{-\infty}^{\infty} P(x) \log P(x)\, dx. \quad (9)$$

Однако, в отличие от (2), численная величина (9) зависит от масштаба измерения ξ, являясь относительной мерой неопределенности, если задано нек-рое распределение, неопределенность к-рого принята за 1. Выражение (9) наз. дифференциальной Э.

Скорость создания сообщений источником с непрерывным множеством значений (состояний) выражается с помощью *эпсилон-энтропии*.

Э. источника сообщений пропорциональна логарифму числа высоковероятных сообщений:

$$\log M(n) = nH,$$

где $M(n)$ — число высоковероятных сообщений — комбинаций n символов. С ростом n суммарная вероятность сообщений, не входящих в группу высоковероятных, стремится к нулю. Следовательно, для передачи сообщений источника с Э. H требуется в пределе H двоичных знаков на символ. Роль понятия Э. источника определяется осн. теоремой теории

информации (см. *Шенноновы теоремы*): пусть источник имеет энтропию H, а канал имеет пропускную способность C. Тогда можно закодировать сообщения на выходе источника т. о., чтобы передавать символы по каналу со ср. скоростью, сколь угодно близкой к C/H. Передавать со средней скоростью, большей, чем C/H, невозможно. Т. о., Э.— важнейшая хар-ка источника, определяющая требования к системам передачи или хранения сообщений.

Э. используется также для вычисления количества информации, передаваемого по каналу связи в единицу времени, т. е. *информации скорости передачи* и *пропускной способности канала*.

В физике Э. есть ф-ция состояния физич. системы, мера близости к состоянию равновесия. Макс. значение Э. достигает в равновесном состоянии. Физич. Э. — размерная величина, измеряемая в *эрг/град*, отличающаяся множителем k (постоянной Больцмана) от Э., употребляемой в теории информации.

Теоретико-информационный и физич. аспекты Э. близки друг к другу. Они объединены в т. н. негэнтропийном принципе Брилюэна [2], согласно к-рому S — физическая Э.— есть мера недостающей информации о состоянии физич. системы. Т. о., получение количества информации H эквивалентно уменьшению S на величину kH. В этом смысле говорят, что информация есть отрицательная Э., или негэнтропия.

Лит.: 1) Шеннон К., Математическая теория связи, в его сб.: Работы по теории информации и кибернетике, пер. с англ., М., 1963; 2) Брилюэн Л., Наука и теория информации, пер. с англ., М., 1960.

Д. С. Лебедев.

ЭПСИЛОН-ЭНТРОПИЯ, ε-энтропия (ε-entropy; ε-entropie; ε-Entropie), — минимальное количество информации в одной случайной величине относительно другой при условии, что мера различия этих величин не превышает ε. Пусть ξ — случайная величина, а ξ' — другая случайная величина, по значениям к-рой судят о том, какое значение имеет ξ. Так, по распределению яркостей телевиз. экрана $\xi'(x, y, t)$ судят о распределении яркостей передаваемых объектов $\xi(x, y, t)$. Говорят, что величина ξ' воспроизводит величину ξ. Св-ва получателя информации устанавливают необходимую верность воспроизведения, т. е. меру соответствия величины ξ' величине ξ.

Если ξ' воспроизводит ξ не точно, а с допустимой верностью ε (когда мера различия ξ' и ξ не превосходит ε), то при знании значения ξ' имеется неопределенность в том, какое значение имеет ξ. Эта неопределенность тем больше, чем меньше $I(\xi, \xi')$ — *информации количество*, в ξ' относительно ξ. Для различных величин ξ', воспроизводящих ξ с верностью ε, величина $I(\xi, \xi')$ будет иметь неодинаковые значения.

Минимум $I(\xi, \xi')$ при условии, что мера различия ξ и ξ' не превосходит ε, есть Э.-э. величины ξ. Дискретная случайная величина может быть воспроизведена точно, так что $\varepsilon = 0$. При этом Э.-э. равна *энтропии* этой величины. Непрерывная случайная величина может быть воспроизведена только приближенно.

При равномерном критерии верности верность ε означает, что $|\xi - \xi'| \leqslant \varepsilon$. В этом случае легко построить ξ' — дискретную случайную величину, получаемую в результате равномерного *квантования* ξ с шагом 2ε. При этом

$$H_\varepsilon(\xi) = H(\xi'). \quad (1)$$

В случае среднеквадратич. критерия верность ε обеспечивается, если $M(\xi - \xi')^2 \leqslant \varepsilon^2$ (M — знак математич. ожидания). В этом случае известна оценка для $H_\varepsilon(\xi)$:

$$H_\varepsilon(\xi) \leqslant \frac{1}{2} \log \frac{\sigma^2}{\varepsilon^2}, \quad (2)$$

где $\sigma^2 = M[\xi^2 - (M\xi)^2]^2$ — дисперсия величины ξ. Равенство в (2) достигается, когда ξ — нормальная случайная величина. При малом ε (для среднеквадратич. критерия) имеет место приближ. равенство

$$H_\varepsilon(\xi) \approx h(\xi) - \log(\varepsilon \sqrt{2\pi e}), \quad (3)$$

где $h(\xi)$ — дифференц. энтропия величины ξ. Для нормальной случайной величины с дисперсией σ^2, $h(\xi) = \log \sqrt{2\pi e \sigma^2}$ и правая часть (3) переходит в правую часть (2).

Для случайной последовательности вычисляется Э.-э. на элемент $H_\varepsilon(\xi)$ и Э.-э. в единицу времени $\overline{H}_\varepsilon(\xi)$. Эти величины связаны так:

$$\overline{H}_\varepsilon(\xi) = \nu H_\varepsilon(\xi),$$

где ν — число элементов последовательности, появляющихся в сек. При равномерном критерии для $H_\varepsilon(\xi)$ сохраняется ф-ла (1), где под $H(\xi')$ подразумевается энтропия случайной последовательности. Для среднеквадратич. критерия, когда ε мало, можно применить выражение, аналогичное (3):

$$H_\varepsilon[\xi(t)] = \lim_{n \to \infty} \left\{ \frac{1}{n} \left[h(\xi_n) \right] - \log \varepsilon \sqrt{2\pi e} \right\}$$ двоичных единиц/элемент, где $h(\xi_n)$ — дифференц. энтропия отрезка случайной последовательности из n элементов. В частности, последовательность независимых нормальных случайных величин, появляющихся ν раз в сек., имеет Э.-э.:

$$\overline{H}_\varepsilon(\xi) = \nu \left(\frac{1}{2} \log \frac{\sigma^2}{\varepsilon^2} \right). \quad (4)$$

Случайный процесс характеризуется величиной $\overline{H}_\varepsilon[\xi(t)]$ (величина $H_\varepsilon[\xi(t)]$ для процесса с непрерывным временем не имеет смысла). Напр., для среднеквадратич. критерия для нормального случайного процесса $\xi(t)$ со спектр. плотностью $f_{\xi\xi}(\omega)$ имеем:

$$\overline{H}_\varepsilon(\xi) = \frac{1}{4\pi} \int_{f_{\xi\xi}(\omega) \geqslant \theta^2} \log \frac{f_{\xi\xi}(\omega)}{\theta^2}\, d\omega. \quad (5)$$

Интеграл берется только по тем значениям угловой частоты ω, для к-рых $f_{\xi\xi}(\omega) \geqslant \theta^2$. θ^2 — постоянная, определяемая из ур-ния:

$$\varepsilon^2 = \int_{-\infty}^{\infty} \min[\theta^2, f_{\xi\xi}(\omega)]\, d\omega.$$

Если спектр. плотность постоянна и равна f_0 в пределах полосы частот $\Delta\omega$, а за пределами очень мала, то (5) примет следующий вид:

$$\overline{H}_\varepsilon(\xi) = \frac{\Delta\omega}{2\pi} \left(\frac{1}{2} \log \frac{f_0}{\theta^2} \right). \quad (6)$$

Сравнивая (4) и (6) и учитывая, что $f_0 = \sigma^2/2\Delta\omega$ и $\theta^2 = \varepsilon^2/2\Delta\omega$, заключаем, что

$\Delta\omega/2\pi$ можно рассматривать как число степеней свободы случайного процесса в сек. (для неслучайных ф-ций этот факт устанавливает *Котельникова теорема*).

Э.-э., отнесенная ко времени (эта величина наз. также скоростью создания сообщений), является осн. хар-кой *источника сообщений*. Ее значение определяется осн. теоремой теории информации (см. *Шенноновы теоремы*): если источник при данной верности воспроизведения ε имеет скорость создания сообщений $\overline{H}_\varepsilon$, то можно закодировать сообщения на выходе источника и передавать их по каналу с пропускной способностью C при верности воспроизведения, как угодно близкой к ε, если только $\overline{H}_\varepsilon \leqslant C$. Это невозможно, если $\overline{H}_\varepsilon > C$. Т. о., Э.-э. определяет требования, предъявляемые источником сообщений к системе связи. Из осн. теоремы следует, что для воспроизведения с верностью ε сообщения достаточно $\overline{H}_\varepsilon$ двоичных единиц/сек.

В технике часто прибегают к квантованию или дискретизации, т. е. превращению случайного процесса $\xi(t)$ в последовательность дискретных случайных величин. Важная задача — сократить ср. число двоичных цифр, возникших в результате квантования. Осн. теорема показывает, что это число может быть сокращено до $\overline{H}_\varepsilon$. Проблема оптимальной дискретизации (она наз. также проблемой построения минимальной ε-сети) решена пока только для немногих частных случаев.

Лит.: Колмогоров А. Н., Теория передачи информации, М., 1956; Шеннон К., Математическая теория связи, в его сб.: Работы по теории информации и кибернетике, пер. с англ., М., 1963.

Д. С. Лебедев.

ЭРГОНОМИКА (ergonomics, human engineering; ergonomie; Ergonomie) — научная дисциплина, изучающая трудовые процессы с целью создания оптим. условий труда, т. е. таких, к-рые, способствуя увеличению производительности и повышению качества труда, вместе с тем обеспечивают работающему необходимые удобства и сохраняют его силы, здоровье и работоспособность. Проблемы Э. разрабатываются комплексно психологами (см. *Психология инженерная*), физиологами, врачами-гигиенистами, художниками-конструкторами, архитекторами, инженерами различных специальностей. Области Э.: 1) исследование влияния физич. среды на функцион. состояние и работоспособность человека: разработка средств эффективной защиты организма от вредоносных влияний среды (напр., определение правил проектирования звукоизоляции, средств индивид. защиты от чрезвычайных раздражений слуха, зрения и т. п.); 2) установление общих принципов рациональной компоновки устройств и пунктов управления различных типов с учетом психологич., физиолого-гигиенич. и эстетич. требований; 3) определение требований к проектированию рабочих мест и условий, способствующих выработке у исполнителя надежных профессиональных динамич. стереотипов; 4) определение эффективности оптимальных хар-к различных типов индикаций (зрительной, слуховой и пр.) в зависимости от порогов ощущения и восприятия, от пропускной способности анализаторов, от особенностей световой и цветовой сигнализации, оценка органов управления с учетом соответствия диктуемых ими рабочих движений рефлекторным реакциям человека и др.

Лит.: Сидоров О. А., Физиологические факторы человека, определяющие компоновку постов управления машиной, М., 1962; Надежность наземного радиоэлектронного оборудования, пер. с англ., М., 1957, гл. VII; Welford A. T., Ergonomics of automation, L., 1960; Burger G. C., Jong J. R., Aspects of ergonomic job analysis, «Ergonomics», 1962, t. 5, № 1; L'ergonomie, ou l'adaptation scientifique du travail à l'homme, «Rev. internat. travail», 1961, v. 83, № 1.

Д. А. Ошанин.

ЭТАЛОН (reference, standard; étalon; Bezugsnormal, Vergleichsmaß) — тело или устройство, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы измерения в общегосударств. или международном масштабе. Эталонными мерами или эталонными измерит. приборами наз. меры (гиря, температурная лампа, катушка электрич. сопротивления) или измерит. приборы (весы, манометр, амперметр), применяемые в качестве эталонов. Различают первичный эталон, по точности стоящий выше других эталонов, воспроизводящих единицы измерения той же физич. величины, и вторичный эталон, значение к-рого устанавливается как непосредственно по первичному эталону, так и через посредство других вторичных эталонов или эталонным методом (напр., воспроизведение метра в длинах световых волн; воспроизведение международной температурной шкалы по 6 пост. точкам). Первичный эталон, утвержденный в установленном порядке в качестве государственного, наз. государственным эталоном. Вторичные эталоны делятся на эталоны-свидетели, эталоны-копии и рабочие эталоны. Эталон-свидетель служит для проверки сохранности первичного эталона и его замены в случае порчи или утраты; эталон-копия служит для непосредств. сличения его с первичным эталоном и замены его при наиболее точных метрологич. работах; рабочий эталон предназначается для текущих метрологич. работ по передаче единиц измерения образцовым мерам и образцовым измерит. приборам (приборам высшей точности). Различают: одиночный эталон, воспроизводящий единицу измерения без участия других таких же эталонов (эталонная гиря, эталонная катушка сопротивления); групповой эталон, представляющий группу эталонных мер и измерит. приборов, применяемую как одно целое для повышения точности воспроизведения единицы измерения (напр., первичный групповой эталон вольта, состоящий из 20 нормальных насыщенных элементов; первичный групповой эталон для измерения электрич. емкости, состоящий из 4 конденсаторов). Эталонным методом наз. метод воспроизведения единиц измерения с использованием пост. свойств вещества или физич. констант, заменяющий первичный эталон. Эталонной установкой наз. измерит. установка, предназначенная для осуществления эталонного метода.

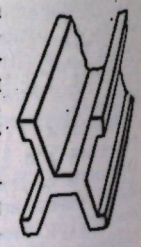


Рис. 1.

До 1960 в качестве Международного прототипа единицы длины служил платино-иридиевый брусок, хранящийся в Международном бюро мер и весов, общей длиной 102 *см*, имеющий в поперечном сечении форму X (рис. 1). Единица длины — метр определялся расстоянием между осями двух средних штрихов, нанесенных на Международном прототипе метра на расстоянии 1 *см* от его краев при 0° С и нормальном атмосферном давлении. Государств. эталоном единицы длины в СССР служил платино-иридиевый штриховый метр №28, а вторичными эталонами-копиями — платино-иридиевые метр № 11, М 20°, № 2 и платино-иридиевая мера П4. В качестве рабочих эталонов служил набор штриховых мер длины от 1 *дм* до 1 *м*, а также трехметровый платиновый жезл Н15 и четырехметровый инварный жезл №1903. 11-я Генеральная конференция по мерам и весам в 1960 отменила определение метра, основанное на международном платино-иридиевом эталоне, и установила, что «метр есть длина, равная 1650763,73 длин волн в вакууме излучения, соответствующего переходу между уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$ атома криптона 86 (обозначения термов по Пашену: большая цифра пропорциональна величине главного квантового числа; буква показывает группу, в к-рой расположен терм; малая цифра в виде индекса справа указывает номер подгруппы). Воспроизведение метра в длинах световых волн осуществляется в Международном бюро мер и весов и крупных национальных метрологич. лабораториях на эталонных установках с помощью излучения спектр. лампы, наполненной изотопом криптона Kr^{86} (рис. 2). В дьюаровском сосуде *5* помещена заполненная криптоном 86 стеклянная трубка *2*, имеющая накаливаемый катод *3* и охлаждаемая до темпры тройной точки азота (—210° С). Процесс излучения криптоном 86 оранжевой линии с длиной волны 0,6057 *мкм* вызывается переходом электрона в атоме между уровнями $2p_{10}$ и $5d_5$, подверженными минимальным внешним возбуждающим влияниям. Для вывода излучения служит трубка в защитном кожухе *6*. Для измерения темп-ры среднего канала трубки служит термопара *8*, а для измерения давления — U-образный манометр *4*. Для перемешивания жидкого азота с целью создания равномерной темп-ры служит помещенная в центре сосуда мешалка *7*. Свечение происходит в капилляре *1* с внутр. диаметром 2—3 *мм* и длиной 10—12 *см*. Для сличения штриховых и концевых эталонов длины с эталонной длиной световой волны оранжевой линии криптона 86 применяют интерференц. фотоэлектрич. компаратор.

Рис. 2.

Международным прототипом единицы массы служит платино-иридиевый килограмм, хранящийся в Международном бюро мер и весов. Государств. эталоном единицы массы в СССР служит платино-иридиевый килограмм № 12, а эталонами-копиями — платино-иридиевый килограмм № 26, предназначаемый для замены государств. эталона массы во время его сличения с международным прототипом килограмма, платино-иридиевый килограмм R_1 $\frac{\text{PtIr}}{1\ кг}$, килограмм из нержавеющей стали В $\frac{\text{Ст}}{1\ кг}$ № 6 и Н $\frac{\text{Ст}}{1\ кг}$ № 8, бронзовый килограмм Гор $\frac{\text{Cu Sn}}{1\ кг}$ № 12. Последние 4 эталона-копии служат для сличения с ними не реже 1 раза в 2 года рабочих эталонов единиц массы, изготовляемых из платины, бронзы и нержавеющей стали.

Воспроизведение единицы времени — секунды, и частоты — *сек*$^{-1}$, осуществляют эталонным методом с помощью эталонных групп кварцевых часов, отрегулированных по среднему солнечному или звездному времени. В последние годы созданы новые молекулярные и атомные эталоны частоты и времени, основанные на способности молекул и атомов излучать и поглощать энергию во время перехода между двумя энергетич. уровнями в области радиочастот.

Эталоном единицы силы тока — ампера — служат токовые весы, в к-рых сила тока определяется по силе взаимодействия катушек с током. Токовые весы (рис. 3) представляют собой равноплечные рычажные весы, в которых подвешиваемая подвижная катушка *1* уравновешивается грузом *3*. При пропускании пост. электрич. тока по катушкам *1* и *2*, соединенным последовательно, катушка *1* опускается и входит в неподвижную катушку *2*. Для компенсации силы взаимодействия токов и приведения весов в равновесие на правую чашку весов кладут дополнит. груз, масса к-рого тем больше, чем больше сила электрич. тока, проходящего по катушкам. По массе дополнит. груза и судят о силе электрич. тока в соответствии с законом Ампера взаимодействия токов.

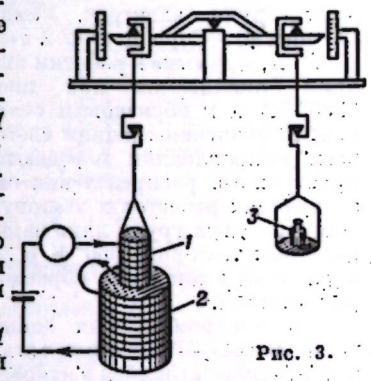


Рис. 3.

Для воспроизведения международной практич. температурной шкалы в пределах от —263° С до 4000° С по 6 пост. точкам (в соответствии с уточненным изданием положения о Международной температурной шкале 1948, принятого 11-й Генеральной конференцией по мерам и весам) применяют эталонный метод. К шести первичным пост. точкам относятся: точка кипения кислорода 182,97° С, тройная точка воды 0,01° С, точка кипения серы 444,6° С, точка затвердевания серебра 960,8°С, точка затвердевания золота 1063° С. Воспроизведение темп-ры фазового равновесия химически чистых веществ приведено для нормального атмосферного давления (p=101 325 $н/м^2$= = 760 *мм рт. ст.*), кроме тройной точки, давление к-рой соответствует ее температуре. Международная температурная шкала, воспроизводимая эталонным методом, хранится и передается образцовым приборам с помощью рабочих эталонов (эталонных термометров сопротивления, эталонных термопар, эталонных температурных ламп и эталонных оптич. пирометров). Для измерения промежуточных темп-р применяются интерполяц. формулы. Экстраполяция темп-р ниже —182,97° С производится с помощью газового термометра. В качестве первичного светового эталона-свечи в СССР применяют полный излучатель (абсолютно черное тело) при темп-ре

затвердевания платины. Значения световых единиц от первичного эталона (*1*, рис. 4) передаются по двум линиям: 1) значения единиц си-

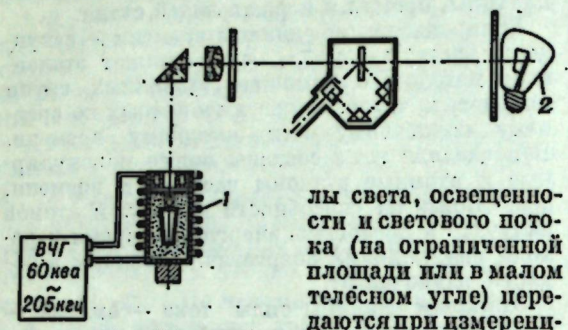


Рис. 4.

лы света, освещенности и светового потока (на ограниченной площади или в малом телесном угле) передаются при измерениях направленной силы света к эталону-копии, состоящему из двух групп электрич. ламп накаливания (*2*, рис. 4) — при цветовой темп-ре 2042° К и 2360° К, и дальше к рабочим эталонам (группы ламп накаливания при цветовой темп-ре 2360° К) и к образцовым светоизмерит. лампам; 2) значения единицы светового потока по всем направлениям передаются посредством пространств. распределения силы света и последующих расчетов к эталону-копии, состоящему из двух групп ламп накаливания — при цветовых темп-рах 2360° К и 2800° К, и далее к рабочим эталонам и образцовым светоизмерит. лампам.

Для воспроизведения единицы плотности жидкости в СССР применяют эталонный весовой метод, заключающийся в измерении массы жидкости в объеме, предварительно измеренном с требуемой точностью гидростатич. взвешиванием в дистиллированной воде. Рабочими эталонами служит эталонный набор денсиметров с градуировкой плотности от 0,650 до 2,000 *г/см*³ (650—2000 *кг/м*³).

Первичным эталоном давления в СССР служит грузовой эталон, состоящий из 5 грузопоршневых манометров с пределами измерения от 0,1 до 6 *Мн/м*² (приблизительно от 1 до 60 *кгс/см*²). Рабочими эталонами служат 7 грузопоршневых манометров с пределами измерения 0,025—0,6 *Мн/м*² (≃ 0,25—6 *кгс/см*²), 0,1—6 *Мн/м*² (≃ 1—60 *кгс/см*²) и 1—60 *Мн/м*² (≃ 10—600 *кгс/см*²), показания к-рых сличаются с показаниями первичного эталона гидростатич. методом.

Для воспроизведения единицы звукового давления в диапазоне частот 5 *гц* — 1000 *кгц* применяют эталонный метод, осуществляемый с помощью гидропресса (частоты 5—100 *гц*), набора звукомерных дисков (20 *гц* — 30 *кгц*), обратимых электростатич. преобразователей (0,5—300 *кгц*), набора акустич. радиометров (0,1—1 *Мгц*). Рабочими эталонами служат эталонные турмалиновые микрофоны (20 *гц* — 20 *кгц*), эталонные турмалиновые гидрофоны (10—100 *кгц*), эталонный набор кварцевых излучателей (0,1—1 *Мгц*).

Для воспроизведения значений силы применяют набор мер силы, входящий в силоизмерит. установки до 10 *тс* и до 100 *тс* (≃100 *кн*—1 *Мн*).

Для воспроизведения единицы кинематич. вязкости жидкостей применяют эталонный метод, заключающийся в сравнении времени истечения воды и вспомогат. жидкостей. Кроме того, применяют эталонные методы воспроизведения единицы плоского угла (путем определения центр. углов между гранями эталонной многогранной призмы с помощью автоколлиматоров), единиц вместимости и объема, твердости, шероховатости поверхностей, угловой скорости и угловой частоты, единицы дозы рентгеновского и гамма-излучений (рентгена) по ионизации воздуха, единицы активности радиоактивного препарата по ионизационному или тепловому действию излучателя, первичного эталона радия, единицы плотности нейтронного потока, единицы нейтронной дозы, единиц электрич. сопротивления, индуктивности, электрич. емкости, эдс, напряженности магнитного поля, магнитного потока и других единиц измерения.

Лит.: Бурдун Г. Д., Калашников Н. В., Стоцкий Л. Р., Международная система единиц, М., 1964; Исследования по методике оценки погрешностей измерений. [Сб. ст.], М.—Л., 1962; Поверочные схемы. Комитет стандартов, мер и измерительных приборов при Совете Министров СССР, М.—Л., 1960; Маликов М. Ф., Основы метрологии, ч. 1, М., 1949; Тиходеев П. М., Световые измерения в светотехнике (Фотометрия), 2 изд., М.—Л., 1962; его же, Очерки об исходных (метрологических) измерениях, М.—Л., 1954; Богославский М. Г. [и др.], Таблицы перевода единиц измерений, М., 1963.

Л. Р. Стоцкий.

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ В ТЕЛЕМЕХАНИКЕ (effectiveness of information transmission in telecontrol; efficacité de la transmission d'information en opérations à distance; Wirksamkeit der Informationsübertragung in der Fernwirktechnik) — Эффективность использования канала связи характеризуется величиной R, показывающей, какое количество информации I может быть передано за единицу времени T в единичной полосе канала связи ΔF:

$$R = I/\Delta F \cdot T,$$

к-рая зависит от способа кодирования сообщений, вида модуляции, величины и характера искажений. Стоимость протяженных телемеханич. линий связи обычно значительно превосходит стоимость аппаратуры; поэтому, наряду с помехоустойчивостью, R служит одним из важных показателей систем телемеханики и позволяет сравнивать системы кодирования и модуляции.

При предположении равновероятности передачи отдельных команд или адресов объектов и одинаковой их длительности передачи в многоканальной системе ТУ с временным разделением сигналов для передачи команд M двухпозиц. объектам необходимо 2 M временных позиций длительностью τ каждая. За время $T = 2M\tau$ (без учета сигналов синхронизации) может быть передано одно из 2^M различных сообщений. Величина $I = \log 2^M$ (при отсутствии помех); требуемая для передачи полоса канала $\Delta F = k/\tau$, где k — коэфф. формы импульса. Тогда $R = {}^1/_2\, k$ двоичных единиц не зависит от числа объектов управления.

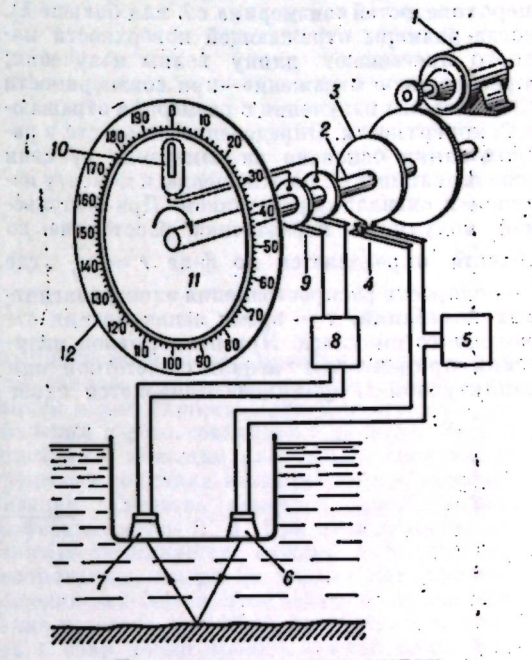
При передаче команды одному из многих объектов основная информация заключена в адресе объекта (в самих командах типа «включено» — «выключено» содержится 1 двоичная единица информации). Для передачи адреса одного из M объектов при использовании двоичного кода на все комбинации необходимо n временных позиций ($n = \log_2 M$), т.е. $I = \log_2 M$; $2\frac{\log_2 M}{2} + 1 = n + 1$, $\Delta F = k/\tau$, $T \simeq \tau\,(n+1)$. Эффективность передачи $R = 1/k$ также не зависит от числа объектов управления. При использовании распределит. кода $I = \log_2 M$, $T = 2M\tau$, $\Delta F = k/\tau$ и $R = \log_2 M/2kM$, т. е. эффективность ухудшается с увеличением числа объектов. Эффективность частотных кодов при передаче двух боковых вдвое ниже соответствующих временных кодов и также падает с увеличением M (при $M \gg 1$). Эффективность передачи сигналов ТС находится аналогично. В случае ТИ количество информации зависит от величины приведенной среднеквадратичной ошибки, возникающей вследствие действия помех и аппаратурных искажений, и ширины спектра сигнала. При определении величины I следует учитывать характер закона распределения сигнала и ошибки. При величине приведенной среднеквадратичной ошибки δ с нормальным законом распределения, равномерном распределении сигнала в заданных пределах и высшей частоте спектра сигнала F_m величина $R \simeq (F_m/\Delta F) \log (1/16\delta^2)$. Выразив эту величину через обобщенные параметры передачи $\rho = U_c/\sigma_0\sqrt{F_m}$ и $\gamma = \Delta F/2F_m$, где U_c — напряжение сигнала, σ_0 — удельное (в полосе 1 *гц*) напряжение помехи, и определив δ методами потенциальной помехоустойчивости, можно найти, что при амплитудной модуляции $R_{ам} = (\log_2 \rho - 2)/\gamma$, при частотной модуляции $R_{чм} = (\log_2 \rho_0 \gamma - 0{,}2)/\gamma$, при время-импульсной модуляции $R_{вим} = (\log \rho_0 \gamma^{1/2} - 2)/\gamma$. Следовательно, в области слабых помех $R_{ам}$ при $\gamma = 1$ значительно превосходит $R_{чм}$ и $R_{вим}$. Однако при малой величине F_m не удается простыми средствами обеспечить достаточно узкую полосу канала связи. При равных, но больших γ, в области не очень слабых помех ($\log_2 \rho_0 = 4$—6) амплитудная модуляция уступает частотной и время-импульсной.

Лит.: 1) Бахметьев М. М., Васильев Р. Р., «АиТ», 1957, т. 18, № 4; 2) Васильев Р. Р., там же, 1958, т. 19, № 11; 3) Повин Н. В., там же, 1961, т. 22, № 9—10; 4) Ильин В. А., там же, 1962, т. 23, № 6.

Р. Р. Васильев.

ЭХОЛОТ (fathometer; sondeur acoustique; Echolot) — гидроакустический навигационный прибор для определения глубины моря под килем судна. Действие Э. основано на определении времени распространения звукового импульса от судна до морского дна и обратно. Зная это время t и величину скорости звука в морской воде c, можно вычислить глубину моря по ф-ле $H = ct/2$. Скорость звука c близка к 1500 *м/сек*, но неск. изменяется с изменением темп-ры воды, ее солености и гидростатич. давления (см. *Гидролокатор*).

Принципиальная схема Э. показана на рис. Электродвигатель *1*, снабженный регулятором для поддержания пост. скорости, вращает ось *2*, на к-рую насажен кулачок *3*, воздействующий на контактор-замыкатель *4*. При вращении оси контактор в определ. моменты подключает на короткое время (1—3 *мсек*) гидроакустич. излучатель *6* к генератору *5* УЗ частоты. При этом в водную среду посылаются короткие УЗ импульсы, достигающие дна, отражающиеся от него и возвращающиеся к гидроакустич. звукоприемнику *7*. После усилителя *8* отраженные сигналы поступают через скользящие контакты *9* на газосветную лампочку *10*, расположенную на диске *11*, сидящем на той же оси *2*. Диск снабжен щелью, сквозь к-рую оператор может наблюдать вспышку лампочки, и окружен кольцевой шкалой глубин *12*. Когда замыкается контактор, лампочка находится против нуля шкалы глубин; угол поворота диска *11* за время, протекающее от замыкания контактора до вспышки лампочки, дает в определ. масштабе измеряемую глубину. Часто в Э. вместо отдельных излучателя *6* и приемника *7* используется один обратимый гидроакустич. преобразователь, к-рый



Принципиальная схема эхолота.

поочередно подключается к генератору *5* и усилителю *8*. При этом контактор *4* выполняется в виде переключателя. В совр. Э. часто применяются регистрирующие приборы (эхографы), позволяющие осуществлять непрерывную запись глубины при движении судна. Такая запись наз. эхограммой. По виду эхограммы можно также приблизительно судить о характере подводного грунта, изучать конфигурацию подводных опасностей, определять местоположение затонувших судов, обнаруживать рыбные косяки и т. д. Обычные навигац. Э. предназначаются для измерения глубин до 250—350 *м* и работают на частотах ок. 40 *кгц*. В Э. для измерения больших глубин (неск. тысяч *м*), применяемых в гидрографич. исследованиях, используются более низкие частоты, в шлюпочных Э. для измерения малых глубин — более высокие.

Устройства, по принципу действия аналогичные Э., применяются в технике и для др. целей, напр. для измерения уровня нефти в скважинах, уровня жидкостей в резервуарах и т. д. (см. *Ультразвуковой измеритель уровня*).

Лит.: Гензель Г. С., Заездный А. М., Основы акустики, М.—Л., 1952; Логинов К. В., Эхолот НЭЛ-4, Мурманск, 1957; Drubba H., Rust H., Die Entwicklung der akustischen Meerestiefenmessung, «Z. angew. Phys.», 1953, Bd 5, H. 10, S. 388—400.

В. С. Григорьев.

ЭХО-СИГНАЛ (echo-signal; signal d'écho; Echosignal) — электромагнитный или ультразвуковой *сигнал*, отраженный по пути распространения и затем принятый в пункте наблюдения. На явлении Э.-с. радиодиапазона основана вся совр. радиолокация. Образование радиолокационного Э.-с. может происходить след. обр.: а) зеркальное отражение — при гладкой отражающей поверхности (линейная

величина шероховатостей много меньше длины волны λ), когда ее размеры намного превышают длину волны излучения λ; б) рассеяние (ненаправленное отражение) — при шероховатой отражающей поверхности (величина шероховатостей соизмерима с λ или больше λ), когда размеры отражающей поверхности намного превышают длину волны излучения; в) резонансное отражение — при соизмеримости длины волны излучения с размерами отражающей поверхности. Определение дальности в радиолокации основано на измерении времени запаздывания Э.-с. по отношению к моменту излучения сигнала передатчиком. При импульсной модуляции передатчика расстояние до объекта определяется по ф-ле $r = c\frac{\tau}{2}$, где c — скорость распространения электромагнитных колебаний, τ — время запаздывания отраженного импульса. При непрерывном излучении применяются сигналы с частотной или амплитудной модуляцией. Измеряется сдвиг Э.-с. по частоте или временно́е запаздывание огибающей. Э.-с., возникающие за счет отражения УЗ механич. колебаний среды, используются в гидроакустике для поиска преград (айсбергов, подводных лодок и т. п.), а также для измерения морских глубин с помощью эхолота. Работа эхолота основана на измерении времени прохождения УЗ колебаний от вибратора-излучателя до дна и обратно к вибратору-приемнику. Э.-с. находят также применение в УЗ дефектоскопии, где причиной их появления являются всевозможные нарушения однородности материала (трещины, раковины и пр.). В нек-рых случаях образование Э.-с. нежелательно, напр. Э.-с., возникающий в *фидере* из-за различных неоднородностей.

Лит.: Богомолов А. Ф., Основы радиолокации, М., 1954; Долуханов М. П., Распространение радиоволн, 2 изд., М., 1960; Соколов С. Я., Ультразвук и его применение, «Журнал техн. физики», 1951, т. 21, вып. 8.

Л. Л. Москвитина.

Я

ЯЗЫК АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ (algorithmic language; langage algorithmique; Algorythmensprache) — совокупность набора основных символов, системы правил построения из этих символов конструкций и системы правил однозначного истолкования указанных конструкций, позволяющая задавать *алгоритмы*. Система правил построения конструкций из осн. символов наз. синтаксисом Я. а., а система правил их однозначного истолкования — семантикой Я. а. Осн. символами Я. а. могут быть буквы нек-рого *алфавита* или к.-л. др. символы. Конструкциями в нек-рых Я. а. являются *слова*, последовательности слов (предложения) и т. п.; в др. Я. а. — таблицы, системы таблиц и т. п. Конструкция в Я. а. наз. имеющей смысл, если она поддается истолкованию с помощью правил истолкования (интерпретации), принятых в данном Я. а. Обычно синтаксис Я. а. предусматривает иерархич. построение конструкций: он содержит правила, с помощью к-рых из осн. символов строятся миним. конструкции, имеющие смысл,— т. н. морфемы; правила построения из морфем более сложных конструкций, являющихся уже алгоритмами, и, наконец, во многих Я. а.— правила построения из алгоритмов новых алгоритмов (см. *Алгоритмов конструирование*). Применение правил интерпретации к совокупности конструкции, являющейся алгоритмом, и исходного данного для этого алгоритма приводит к осуществлению алгоритмич. процесса. Т. к. каждой комбинации одного и того же алгоритма с различными исходными данными соответствует свой конкретный алгоритмич. процесс, то можно сказать, что Я. а. позволяет описывать (своими конструкциями) семейства алгоритмич. процессов.

Возникновение понятия Я. а. связано с развитием понятия алгоритма, к-рое возникло в математике в связи с поиском общих методов решения классов однотипных задач. При этом под алгоритмом понималось точное правило решения произвольной задачи данного класса. Процесс выполнения такого правила (алгоритмич. процесс) — дискретный процесс преобразования исходного данного в искомый результат. Появление ЭЦМ, развитие методов программирования, применение ЭЦМ для автоматизации произ-ва и автоматизации процессов управления деятельностью коллективов людей выдвинуло задачу описания процессов. Если процесс можно рассматривать как дискретный процесс преобразования исходного данного в искомый результат, то его описанием может служить алгоритм, процесс выполнения к-рого совпадает с данным. Задача описания с помощью алгоритмов дискретных процессов получила название задачи алгоритмизации. Средства решения такой задачи разрабатываются Я. а. При этом понятие алгоритма расширяется: каждый алгоритм рассматривается теперь не только как правило решения нек-рого класса задач, но и как описание нек-рого семейства дискретных процессов. С совр. точки зрения, всякий класс родственных алгоритмов (соответствующих одному и тому же алгоритму, их выполнения) связан с нек-рым Я. а. (семантикой к-рого является упомянутый алгоритм выполнения).

При разработке Я. а. стремятся к тому, чтобы он удовлетворял след. условиям: 1) легкость изучения, понимания и применения; 2) компактность описания процессов; 3) удобство использования в публикациях; 4) универсальность. Перечисл. требования противоречивы и не могут быть одновременно выполнены. Стремясь удовлетворить первому условию, в состав Я. а. часто включают математич. ф-лы или слова естеств. языка. Невозможность совмещения второго и четвертого условий вынуждает разрабатывать различные Я. а. для применения их в сравнительно узких областях. Так, Я. а. *алгол* разработан для описания процессов численного решения нек-рого класса задач вычислительной математики. Поскольку этот Я. а. должен служить входным языком автоматич. программирования, то для удобства ввода в память ЭЦМ его конструкций последние берутся линейными (т. е. представляют собой последовательности букв — осн. символов алгола). Для описания процессов решения, напр., информац. задач алгол неудобен (хотя его применение для этой цели возможно), и здесь целесообразно применять спец. «информационный» Я. а.

Я. а., правила интерпретации к-рого аппаратурно реализованы в ЭЦМ, наз. *машинным языком*, или системой команд машины. В большинстве ЭЦМ осн. символы машинного языка — двоичные цифры 0 и 1, морфемами являются адреса в командах, коды операций команд и различные дополнит. признаки, входящие в состав команд. Слова машинного языка — команды, из к-рых по определ. правилам, принятым для данной ЭЦМ, составляются

программы, являющиеся в машинном языке конструкциями — алгоритмами.

Каждый машинный язык предусматривает определенный метод кодирования информации, для переработки к-рой создана ЭЦМ. Иногда этот метод кодирования включают в понятие машинного языка. В этом случае считают, что машинный язык состоит из двух подъязыков: алгоритмического и языка, служащего для задания операндов (исходных данных для операций и результатов их выполнения). Понятие машинного языка — одно из фундаментальных в теории программно-управляемых машин и в теории программирования.

Лит.: Криницкий Н. А., Миронов Г. А., Фролов Г. Д., Программирование, М., 1963; Жоголев Е. А., Трифонов Н. П., Курс программирования, М., 1964. *Н. А. Криницкий.*

ЯЗЫК ИПЛ (information processing language; langage de traitement de l'information; Sprache der Nachrichtenbearbeitung) — язык программирования для описания информационно-логич. задач. Язык получил свое название по первым буквам слов «Information Processing Language». Существует несколько вариантов языка ИПЛ (1—6).

Его особенности: а) возможность обработки алфавитно-цифровых текстов; б) гибкость использования памяти и возможность ее автоматич. перераспределения; в) удобство представления иерархических (многоуровневых) процессов поиска и обработки информации.

Я. ИПЛ включает в себя два вида выражений: с п и с к и обрабатываемых данных и п р о г р а м м ы, определяющие процесс обработки. Для Я. ИПЛ характерна цепная адресация величин, объединяемых в списки. Для этого с каждой величиной, представляющей нек-рый член списка, хранится адрес связи, показывающий местоположение в памяти ЦВМ следующего члена этого же списка. При подобной цепной адресации члены одного списка могут храниться в произвольных ячейках памяти. Список в ЦВМ задается набором ячеек памяти, состоящих из 3 частей: признаковой части (P и Q), символа S, представляющего данный член списка, и адреса связи L, указывающего следующий член списка. В последней ячейке списка вместо адреса связи ставится условный код, обозначающий конец списка (0). Членами списков могут быть либо отдельные величины, либо другие списки, т. н. подсписки. В последнем случае символ S указывает адрес нач. ячейки подсписка. Т. о., могут строиться многоуровневые списковые структуры. Если членами списков являются имена объектов или величины, то они либо непосредственно указываются на месте символов, либо на месте символов ставятся их адреса.

Пример простого списка:

Адреса ячеек	Символы P Q	Символы S	Адреса связи L
20	—	0	340
150	—	S_2	500
340	—	S_1	150
500	—	S_3	0

Каждый список может иметь дополнит. описательный список, содержащий информацию, относящуюся ко всем членам данного списка. Адрес нач. ячейки описат. списка указывается вместо символа в первом члене осн. списка. При отсутствии описат. списка на этом месте ставится нуль. Описат. список строится также по цепному принципу в виде последовательности пар членов. Первый член пары обозначает тип свойства (цвет, вес, размер и т. п.), а второй член — его значение (напр., если первый член представлял «цвет», то второй — может обозначать «красный»).

В процессе обработки информации для различных списков объектов могут составляться различные описат. списки, изменяться состав св-в и их значения.

При действиях со списком в языке ИПЛ программисту не требуется указывать фактическое размещение членов списков в памяти. Достаточно знать только нач. ячейки списков. В языке предусматривается также соединение всех свободных ячеек памяти при помощи адресов связи в единый список; этот список обозначается $H2$. Если нужно занять свободную ячейку, то она берется из списка $H2$, а освобождающиеся ячейки возвращаются в этот список. Для обеспечения рекурсивных процессов (многократное прерывание подпрограмм, просмотры списковых структур с переходами на различные уровни и др.) в Я. ИПЛ предусматривается использование т. н. пр. двигающихся списков и двух операций: предохранить и восстановить. Напр., при уходе к подпрограмме необходимо запомнить адрес возврата, к-рый в Я. ИПЛ запоминается всегда в одной и той же ячейке, обозначаемой через $H1$. Если вклинившаяся подпрограмма сама прерывается др. подпрограммой, то в ячейку $H1$ засылается новый адрес возврата, а предыдущий адрес возврата для сохранения предварительно пересылается в другую ячейку. Этот процесс выполняется спец. оператором предохранить, к-рый пересылает в очередную свободную ячейку, взятую из списка $H2$, содержимое предохраняемой ячейки (в данном случае ячейки $H1$), а в эту ячейку записывает новое значение адреса возврата (на место символа), а в качестве адреса связи в ячейке $H1$ записывает адрес ячейки, взятой из списка свободных ячеек $H2$. Оператор восстановить выполняет обратные действия. Подобные списки предохраняемых символов наз. п р о д в и г а ю щ и м и с я с п и с к а м и. Пример таких списков — список E, хранящий адреса возврата при многократных прерываниях подпрограмм. Продвигающиеся списки строятся и для предохранения содержимого общих рабочих ячеек, используемых многими подпрограммами, а также для обеспечения согласования «входов» и «выходов» различных подпрограмм. В Я. ИПЛ предусмотрен ряд фиксиров. ячеек, в к-рых каждая подпрограмма получает исходные данные и оставляет свои результаты. Кроме того, существует сквозная т. н. «сигнальная» (также предохраняемая) ячейка $H5$, в к-рой фиксируются результаты проверки различных логич. условий, необходимых для включения в работу подпрограмм.

Программы в Я. ИПЛ представляются аналогичными списками. В команде символ S показывает значение команды, а адрес связи — адрес следующей команды. Префикс P может иметь три значения: при $Q = 0$ символ S является операндом; при $Q = 1$ символ S означает адрес операнда; при $Q = 2$ символ S означает адрес адреса операнда. Префикс P может иметь 8 значений; он определяет вид операции, к-рая должна быть выполнена над операндом.

Для осуществления обработки информации и преобразования списков и списковых структур в Я. ИПЛ предусматривается около 150 типовых операторов, представляемых либо подпрограммами, либо отдельными командами.

При реализации языка ИПЛ на универс. ЦВМ обычного типа все спец. операторы выполняются методом интерпретирующей программы (см. *Интерпретации метод*).

Лит.: Newell A., Tonge F. M., An Introduction to Information Processing Language V., «Commun. of the ACM», 1960, v. 3, № 4, p. 205—11; Shaw J. C. [a. o.], в кн.: Proc. West. Joint Comput. Conf. Contrasts in Computers, Los Angeles, Calif., May 6—8, 1958, N. Y., 1959, p. 119—128. *А. И. Китов.*

ЯЗЫКИ ПРОГРАММИРОВАНИЯ (programming languages; langages de la programmation; Sprachen der Programmierung) — способы формулировки и записи процессов решения задач, подлежащих осуществлению на ЦВМ. Примеры текстов на Я. п. — программы, записанные на *машинном языке*, т. е. в системе команд конкретной машины (см. *Язык алгоритмический*), программы в условных адресах, блок-схемы и операторные схемы программ (см. *Операторный метод программирования*), записи в символике *алгола* и т. п. Я. п. разделяются на формализованные (напр., машинные языки, язык алгол и др.) и на неполностью формализованные (напр., язык блок-схем или операторные схемы без ограничения на класс операторов, а также программы со словесными пояснениями). Тексты на формализованных Я. п. подчиняются строгим ограничениям на словарь и синтаксис (так, в записи рабочей программы используется строго фиксированный набор команд, заполняется место каждого адреса, предусматривается программа ввода и т.п.). Тексты на неформализов. языках могут допускать достаточно произвольные записи на естеств. языке (в каждом квадратике блок-схемы можно написать более или менее любые пояснения, можно в операторной схеме поставить произвольный символ оператора, отдельно дав описание выполняемых им ф-ций). Для того чтобы текст, описывающий задачу, мог быть автоматически обработан в машине, необходимо, чтобы он был записан на формализованном Я. п. По крайней мере, формализов. часть текста, вводимая в машину, должна быть четко отделена от пояснений, предназначенных для удобства программиста (аналогично тому как выделяются комментарии в языке алгол). Нужно также, чтобы был предусмотрен способ кодирования этого текста на том *носителе информации*, к-рый используется для автоматич. ввода в машину. Для ввода обычной программы ее записывают на стандартных бланках в виде восьмеричных или десятичных цифр, переносимых на перфокарты, тексты на языках типа алгол изображаются в стандартном алфавите, содержащем около 100 знаков, и перфорируются с помощью спец. клавиатуры. Перспективные возможности ввода даются автоматич. *читающими устройствами*, позволяющими вводить программу непосредственно с напечатанного на машинке документа. Но и при этом имеются существ. ограничения на состав и объем входного алфавита. Формализованные Я. п., использующие средства, существенно отличные от средств машинных языков, наз. обобщенными языками программирования (ОЯП).

Совр. ОЯП, как и языки машинных команд,— алгоритмич. языки, в к-рых задача формулируется в виде совокупности исходных данных и программы, т. е. списка операторов и предписаний о порядке их выполнения. Осн. назначение ОЯП — дать возможность сформулировать алгоритм решения задачи в виде, как можно более близком к той форме, в к-рой этот алгоритм возникает у человека в процессе отыскания метода решения задачи. Гл. средства, с помощью к-рых эта близость в той или иной мере достигается в ОЯП: использование содержат. символики и системы обозначений, употребительной в той области науки, в к-рой возникают данные задачи; укрупнение операторов, на к-рые распадается алгоритм, и; наконец, избавление программиста от необходимости знать код команд машины и особенности выполнения в ней тех или иных операций. Можно отличать ОЯП, ориентированные на задачи, от языков, ориентированных на машины. В последних отличие от языка машинных команд состоит только в подборе мнемонич. названий для осн. операций машины и в произвольности выбора имен отдельных кусков программы и используемых в программе величин (напр., системы программирования в условных адресах).

Применение ОЯП целесообразно даже и при ручном программировании, поскольку оно позволяет четко отделить этап составления точного плана решения задачи, выражаемого в ОЯП, от этапа собственно программирования, т. е. написания машинной программы. Кроме того, ОЯП имеют большое значение как средство общения между людьми, позволяющее в единой и независимой от разных машин форме наглядно и точно описывать вычислит. алгоритмы.

Однако гл. назначение ОЯП — в построении формальных правил перевода (трансляции) с ОЯП на язык машинных команд, программировании этих правил на машине в виде спец. программы, наз. транслятором, или *программирующей программой*, и тем самым в *автоматизации программирования*. В системах автоматич. программирования компилирующего типа (см. *Компиляции метод*) процесс перехода от программы, записанной в ОЯП, к ее выполнению на машине распадается на процесс трансляции исходной программы в машинную и на процесс выполнения построенной машинной программы. В системах программирования интерпретирующего типа (см. *Интерпретации метод*) трансляция и выполнение программы объединяются в единый процесс анализа и выполнения (интерпретации) исходной программы с помощью спец. анализирующе-программирующей программы, наз. интерпретатором.

Наиболее перспективны смешанные системы, в к-рых одновременно интерпретируются достаточно большие куски программы с сильными внутр. связями, но со слабыми связями между кусками. Автоматич. членение программы на такие куски является серьезной проблемой.

Одна из наиболее характерных особенностей совр. ОЯП — их многоуровневое строение, при к-ром единицами действия может считаться не только определенный огранич. набор т. н. элементарных операторов (напр., арифметич. операторов, опера-

торов вычисления индексов и логич. операторов), но также и более сложные составные операторы. Эти составные операторы могут получить произвольное обозначение (имя) и под этим именем упоминаться в алгоритме в качестве элементарного оператора. Т. о., достигается произвольность членения алгоритма на куски, особенно удобная при записи сложных алгоритмов. Такая многоуровневость приближает строй ОЯП к строю человеч. языков с их фразовой грамматич. структурой.

Другая особенность ОЯП — наличие в каждой программе т. н. операторной и описат. частей. Операторная часть, являющаяся собственно программой, содержит операторы, образующие алгоритм. Описат. часть содержит выдержанное в нек-ром едином стиле описание всех произвольных обозначений (имен), использованных при записи программы.

В СССР с 1953 получили большое развитие т. н. операторные языки, введенные А. А. Ляпуновым [9]. В формализов. операторных Я. п. используются системы стандартных операторов со стандартными способами именования и обращения. На этой основе были созданы работающие программирующие программы для нескольких типов машин [14 и 15]. Были введены [10 и 11] спец. системы стандартных операторов, приспособленных для задач *машинного перевода*. Очень удобен неформализов. язык т. н. простых правил, описанный в [10].

Большинство ОЯП считается универс. языками, однако фактически эта универсальность носит лишь принцип. характер, и каждый ОЯП используется для записи своего естеств. класса задач. Осн. классами, для к-рых строятся ОЯП, являются: класс алгоритмов числ. анализа, класс экономич. и коммерч. задач и класс т. н. информационно-логич. алгоритмов.

Для алгоритмов числ. анализа характерны сложные ф-лы и массивы величин, имеющие «тензорный» характер (векторы, матрицы и т. п.). ОЯП для таких задач должен хорошо описывать алгебраич. выражения, индексацию величин по многим параметрам, возможность отсылки к типовым подпрограммам и передачи управления. Наиболее известным ОЯП такого типа является алгол-60 и десятки его «диалектов». Развитая символика алгола находит применение и в ряде других ОЯП. К этому же классу относится язык *фортран* и его модификации для ряда машин фирмы ИБМ (США).

Для коммерч. и экономич. задач создаются ОЯП, хорошо отражающие форму исходных документов: ведомостей, нарядов, накладных и т. п. За рубежом наибольшее признание получил язык *кобол*, в к-ром используются англ. тексты.

Для т. н. информационно-логич. алгоритмов (напр., машинный перевод, информац. поиск, моделирование самообучающихся систем, алгоритмы перевода с ОЯП на язык машинных команд и т. п.) характерны отсутствие сложных алгебраич. ф-л, обращение к величинам не по адресам (или именам), а по признакам (ассоциативная система памяти), работа с большим числом предикатов (логич. шкалы) и т. п. Важнейшие примеры ОЯП этого класса — Комит (см. [5]) (для машинного перевода) и ИПЛ-5 (см. *Язык ИПЛ*, а также [17]). Для них особенно важно наличие т.н. «диспетчера», т. е. системы описания порядка выполнения отдельных блоков. Характерно, что диспетчер для этого класса задач работает в иной модальности (см. *Логика модальная*), чем для вычислит. алгоритмов. В последних после выполнения каждой части алгоритма предписывается, какая часть должна выполняться. Для информационно-логич. алгоритмов диспетчер устанавливает, какие части можно выполнять в данный момент. Поиск следующего выполняемого блока протекает по существу ассоциативно, т. е. по его внутр. признакам. В этих ОЯП наблюдается тенденция перехода от чисто алгоритмич. ОЯП или языков описания процессов к неалгоритмич. языкам с отношений (см. [12, 13 и 19]).

В совр. машинах совершенствуется также сама система управления, позволяющая вводить программу не в обычных командах, а с помощью т. н. *управляющих слов*, близких к средствам ОЯП.

Лит.: 1) Сообщение об алгоритмическом языке АЛГОЛ-60, «ЖВМ и МФ», 1961, т. 1, № 2; 2) Wedger M., Introduction to ALGOL-60, «Computer J.», 1960, v. 3, № 2, p. 67—75; 3) Боттенбрух Г., Структура АЛГОЛ-60 и его использование, пер. с англ., М., 1963; 4) Любимский Э. З., О предполагаемых изменениях в языке АЛГОЛ-60, «ЖВМ и МФ», 1961, т. 1, № 2; 5) Ингве В. Х., Язык для программирования задач машинного перевода, в кн.: Кибернетический сборник, [№] 6, М., 1963; 6) Hirman B., Towards an ALGOL translator, в кн.: Annual review in automatic programming, v. 3, Oxf.—L.—N. Y.—P., 1963, p. 121—62; 7) Dijkstra E. W., Making a translator for ALGOL-60, там же, p. 347—56; 8) Galler B. A., The language of computers, N.Y.—[a. o.], [1962]; 9) Ляпунов А. А., О логических схемах программ, в сб.: Проблемы кибернетики, вып. 1, М., 1958; 10) Кулагина О. С., Операторное описание алгоритмов перевода, «Машинный перевод и прикладная лингвистика», 1959, № 2(9) — № 3 (10); 11) Мельчук И. А., О стандартных операторах для алгоритма автоматического анализа русского научного текста, «Машинный перевод», 1961, вып. 2; 12) Шрейдер Ю. А., О понятиях обобщенного программирования, «Вопросы теории математических машин», 1962, сб. 1; 13) Козмидиади В. А., Черняевский В. С., О некоторых понятиях теории математических машин, там же; 14) Ершов А. П., Ким К. В., Программирующая программа для вычислительной машины «Стрела-3», М., 1961; 15) Камынин С. С., Любимский Э. З., Шура-Бура М. Р., Об автоматизации программирования при помощи программирующей программы, в сб.: Проблемы кибернетики, вып. 1, М., 1958; 16) Фитиалов С. Я., Язык для записи неалгебраических алгоритмов, «Научно-техническая информация», 1963, № 6; 17) Newell A. [a. o.] (ed.), Information Processing Language — V manual, [N. Y.], 1961; 18) Ершов А. П., Кожухин Г. И., Волошин Ю. М., Входной язык системы автоматического программирования, М., 1961; 19) Борщев В. Б., Шрейдер Ю. А., Неалгоритмические языки программирования, «Научно-техническая информация ВИНИТИ», 1964, № 12. *А. П. Ершов, Ю. А. Шрейдер.*

ЯРКОМЕР, яркостемер (brightness-meter; luminancemètre; Helligkeitsmesser)—прибор для измерения яркости. Я. подразделяются на визуальные и фотоэлектрические.

В визуальном Я. сравнимые поля рассматриваются через окуляр глазом наблюдателя.

В фотоэлектрич. Я. измерение имеет объективный характер, т. к. приемником излучения служит фотоэлемент полупроводниковый, фотоэлемент с внешним фотоэффектом или фотоумножитель. Яркость предмета определяют путем измерения освещенности оптич. изображения этого предмета. Характеристику спектральной чувствительности приемника обычно делают возможно близкой к кривой спектральной чувствительности глаза человека, с помощью цветных фильтров. При этом градуировка осуществляется

по поверхности, с известной яркостью, напр. по белой образцовой пластинке. Коэфф. яркости, освещенность к-рой известна.

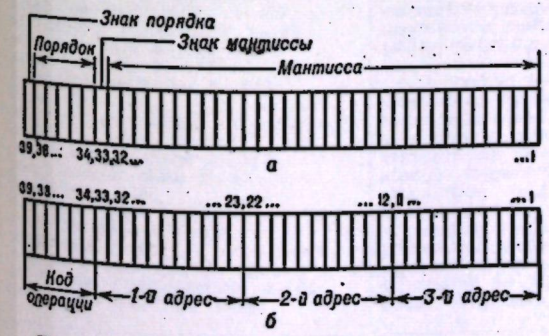
ЯРКОСТЬ (brightness; luminance; Helligkeit)—характеристика излучения света светящейся поверхности по данному направлению. Измеряется отношением силы света в к.-л. направлении к проекции светящейся поверхности на плоскость, перпендикулярную к этому направлению. Единица яркости, равная яркости такой равномерно светящейся поверхности, к-рая в направлении, перпендикулярном к ней, имеет силу света, равную одной свече с 1 $см^2$ площади, наз. стильб (*сб*). Я. в 10^4 меньшая чем 1 *сб* составляет 1 нит (*нт*). Я. зависит от направления. Однако для нек-рых источников, приближающихся к абсолютно черному телу, т. е. к телу, поглощающему полностью все падающие на него лучи какой угодно длины волны (напр., Солнце), Я. не зависит от направления.

Значения Я. нек-рых источников даны в таблице.

Источник излучения света	Яркость (*сб*)
Неоновая лампа	0,1
Стеариновая свеча (пламя)	0.5
Люминесцентная лампа	1,0
Лампа накаливания (нить накаливания)	150—500
Электрическая дуга (кратер)	15 000
Солнце	150 000

ЯЧЕЙКА ПАМЯТИ (storage register; cellule de mémoire; Speicherzelle) — группа запоминающих элементов, имеющая индивидуальный адрес и предназначенная для хранения *слова машинного*. Обычно Я. п. являются составной частью накопит. блока ЗУ; общее их количество определяет емкость ЗУ. Информация заносится или выбирается из Я. п. в процессе работы машины путем определения местоположения требуемой ячейки по присвоенному ей адресу, к-рым служит ее порядковый номер (заданный в двоичной системе счисления).

Я. п. характеризуются длиной, т. е. количеством двоичных разрядов, к-рые могут одновременно использоваться для хранения машинных слов. При этом разряды в Я. п. занумеровываются в к.-л. порядке, обычно справа налево, от младших разрядов к старшим (машины «Урал», БЭСМ-2, «Раздан-2»), но встречается и обратный порядок (машины «Стрела», М-3). На рис. показано распределение разрядов Я.п. машины БЭСМ-2 при хранении двоичного числа — *а* и команды — *б*.



В большинстве вычислит. машин Я. п. имеет длину, рассчитанную на хранение одного числа или команды, к-рые часто имеют одинаковое количество двоичных разрядов. Однако встречаются случаи, когда в одной Я. п. может храниться или одно число, или две команды. Так, 36-разрядное число машины «Урал» может храниться только в длинной Я. п., образующейся из пары коротких по 18 разрядов, в к-рых размещаются коды команды.

Лит.: Криницкий Н. А., Миронов Г. А., Фролов Г. Д., Программирование, М., 1963.

В. П. Исаев.

ЯЧЕЙКИ РАБОЧИЕ [operating units (cells); cellules de fonctionnement; Zwischenspeicher] — ячейки памяти ЦВМ, предназначенные для кратковрем. хранения промежуточных результатов, получаемых при вычислениях. Т. к. перед программистом всегда стоит задача *экономии рабочих ячеек*, то, как правило, значение промежуточного результата хранят до первого использования, а затем данная ячейка занимается под след. результат.

Пример. Программа вычислений по ф-ле $y = \frac{ax+b}{cx+d}$ для трехадресной машины имеет вид:

Операция	Адрес 1-го числа	Адрес 2-го числа	Адрес результата	Результат операции
×	⟨a⟩	⟨x⟩	r_1	ax
+	r_1	⟨b⟩	r_1	$ax+b$
×	⟨c⟩	⟨x⟩	r_2	cx
+	r_2	⟨d⟩	r_2	$cx+d$
/	r_1	r_2	⟨y⟩	y

Ячейки r_1 и r_2 являются рабочими.

При многократном использовании промежуточный результат хранится в соответствующей Я. р. Это позволяет не вычислять подсчитанное значение заново и тем самым экономить количество команд и время вычислений. Напр., при вычислении $y = \frac{ax-b}{ax+b}$ значение ax находится один раз, помещается в Я. р. и хранится там до последнего использования. Программа вычисления y имеет вид:

Операция	Адрес 1-го числа	Адрес 2-го числа	Адрес результата	Результат операции
×	⟨a⟩	⟨x⟩	r_1	ax
+	r_1	⟨c⟩	r_2	$ax+b$
—	r_1	⟨b⟩	r_1	$ax-b$
/	r_1	r_2	⟨y⟩	y

ЯЧЕЙКИ СТАНДАРТНЫЕ (standard registers; cellules normalisées; Standardzellen) — ячейки памяти ЦВМ, предназначенные для обмена информацией между различными операторами программы. Ячейки наз. стандартными, т. к. их содержимое является стандартным на протяжении работы всей программы или отдельных ее частей. Такие ячейки могут содержать логич. шкалы, различные признаки, счетчики и др. информацию, используемую операторами. Вид информации и место этих ячеек в памяти определяются заранее. Это дает возможность независимо составлять отдельные части программы, что особенно важно при большой программе.

В Я. с. задается, в частности, информация о входе и выходе при обращении к подпрограм-

мам, напр. адрес возврата после окончания работы подпрограммы или значение аргумента для подпрограммы вычисления ф-ции.

Занесение величин в Я. с. как один из приемов программирования позволяет экономить количество команд и тактов, расходуемых на вычисления. Так, можно уменьшить число команд переадресации в цикле обработки последовательности величин, если предварительно, перед обработкой, переносить очередной элемент последовательности в Я. с. Напр., в цикле вычисляется величина $x_i^3 + x_i + 1$. Соответствующая часть программы для трехадресной машины имеет вид (звездочкой отмечены переадресуемые команды):

Операция	Адрес 1-го числа	Адрес 2-го числа	Адрес результата	Результат операции
* ×	$\langle x_i \rangle$	$\langle x_i \rangle$	r	x_i^2
* ×	r	$\langle x_i \rangle$	r	x_i^3
* +	r	$\langle x_i \rangle$	r	$x_i^3 + x_i$
+	r	$\langle 1 \rangle$	r	$x_i^3 + x_i + 1$

Здесь $\langle x_i \rangle$ — ячейка, содержащая элемент последовательности x_i, r — *ячейка рабочая*. Для этой программы требуются 3 команды переадресации. Если же этой группе команд предпослать команду переноса x_i в стандартную ячейку s, то потребуется только одна команда переадресации, т. к. адрес x_i будет заменен в программе на адрес Я. с. Программа примет вид:

Операция	Адрес 1-го числа	Адрес 2-го числа	Адрес результата	Результат операции
*0	$\langle x_i \rangle$	0000	s	x_i
×	s	s	r	x_i^2
×	r	s	r	x_i^3
+	r	s	r	$x_i^3 + x_i$
+	r	$\langle 1 \rangle$	r	$x_i^3 + x_i + 1$

Здесь 0 — код операции переноса.

Я. с. используются также и при *циркуляц.*

И. Х. Зуевич.

УКАЗАТЕЛЬ ИНОСТРАННЫХ ТЕРМИНОВ*

АНГЛИЙСКИЕ ТЕРМИНЫ

A

absolute extremum optimizer 2—445
A. C. (alternating current) bridge circuit separate balancing 2—337
A. C. (alternating current) microdrive 2—288
a. c. amplifier 4—201
acceleration constant 1—374
accelerometer 1—50
acceptor 1—51
access time 1—162, 163; 3—460
accuracy 4—58
accuracy class 2—42
accuracy of digital computer 4—65
acoustical channel 2—10
acoustic radiation pressure 1—275
acoustic relay 3—248
action 1—146
active check 2—97
actual address attribution 3—93
actual hardware system simulation 2—313
actual value 3—373
actuator 1—513
adder 3—445
adding circuit 3—447
additional error 1—379
addition electrical conductivity 3—92
addition energy levels 3—92
addition semiconductor 3—22
address 1—48
address code 2—49
address computation 1—49
address language 1—49
address main line 2—210
adjustable controller 3—225
adjustable inductor 1—116
adjusting characteristics 2—363
admissible competitions 1—379
admissible deviation domain 2—461
admissible value 1—379
ageing 3—425
air cleaning for pneumatic devices 1—147
alarm stop 1—9
algol 1—56
algorithm 1—57
algorithmes equivalence 3—130
algorithmic language 4—443
algorithm insolubility 1—59
algorithm's elaboration 1—59
allocation task 3—144
alloy junction 3—397
all-regime controller 3—209
alphabet 1—60
alphatron gage (амер.) 1—114
alphatron gauge (англ.) 1—114
amplidyne amplifier 4—213
amplification class 2—43
amplifier 4—200
amplifier stage 4—214
amplifier tube 2—155
amplitude 1—60
amplitude analyzez 1—66
amplitude compensation 1—61
amplitude distortion 1—61
amplitude distribution meter 1—68
amplitude frequency correction 1—61
amplitude limiter 2—410
amplitude modulator 2—320
amplitude modulation remote transmission 1—352
amplitude selector 3—312
amplitude stability margin 4—217
analog computer 1—70
analog computer applications 1—80
analog computer errors 1—79
analog computer output unit (equipment) 1—169
analog computer time intervals 1—79
analog-digital computer 1—88
analogue computer electronic gate 2—44
analogue computer logical element 2—208
analogue-digital or digital-analogue converter 3—69
analogue extremal system 4—358
and-gate 3—374
anode bend detector 1—313
anode follower 1—89
anode load 1—88
antenna 1—90
anticoincidence circuit 1—92
antiferroelectrics 1—92
antiresonance 1—92
antivibrator 1—308
aperiodical amplifier 4—192
aperiodic circuits 1—93
aperiodic link 1—93
aperiodic regime 1—93
apparatus for automatic analysis of matter composition 1—66
application of radioactive isotopes 3—134
applications of electrostatic phenomena to particulate matter 4—380
applications of electrostatic processes in agriculture 4—382
approximation method 1—94
arc discharge 1—388
arc discharge thyratron 4—46
arc suppression 1—509
artificial line 1—372
arithmetical operation (англ.) 1—94
arithmetic operation (амер.) 1—94
arithmetic unit 1—95
associative programming 3—98
assymptotic methods 1—97
astatic controller 3—207
astatic device 1—99
astatic system 1—99
astatism of n-order 1—98
asymptotic stability 4—222
asynchronous computer 1—98
asynchronous relay system 3—264
atomic freguency standards 1—99
attenuation 1—417
attenuation characteristic 4—216
attenuation coefficient 4—215
attenuation degree 4—215
attenuation regime 4—215
attenuator 1—100; 2—457
audio freguency generator 1—215
autoelectronic emission tube 2—154
autoinductive coupling 1—45
automata studies 1—43
automatic A. C. (alternating current) bridge 2—332
automatic A. C. (alternating current) compensator 2—71
automatic check 2—95
automatic checking executive device 1—510
automatic check system 2—108
automatic check system selection 2—107
automatic chromatography 4—284
automatic control 3—196
automatic controller 3—206
automatic control of flying aparatus 4—151
automatic control of marine apparatus 4—161
automatic control of submarine apparatus 4—162
automatic control sistems stability 4—220
automatic data processing 1—13
automatic D. C. (direct current) compensator 2—72
automatic design of electronic computers 1—17
automatic dimension check 2—101
automatic electric drive 4—413
automatic equipment for measuring the composition and properties of material 3—385
automatic factory 1—397
automatic frequency control of emitters 1—39
automatic gain control 1—40
automatic gas-analysis 1—63
automatic grading 3—384
automatic indication 3—321
automatic level controller 1—46
automatic locomotives control 4—157
automatic machine 1—10
automatic machine design 1—17
automatic measurement 1—442
automatic optimizer 2—442
automatic phase adjustement 4—225
automatic photoelectric components 4—227
automatic plant 1—41, 397
automatic pneumatic piston drive 2—520
automatic programming 1—16
automatic reclosing [reclosure] 1—41
automatic recording 3—191
automaticresearch [testing] of power system behaviour 1—13
automatic reserve [equipment] switching 1—41
automatic rotary line 3—280
automatics 1—32
automatic search 3—9
automatic supervisor 1—9
automatic synthesis 3—326
automatic system simulation in the presence of noise 2—303
automatic teaching form 2—406

* За термином следуют номер тома (полужирным шрифтом) и номер страницы, на которой помещен термин.

automatic testing 2—95
automatic titrator 4—54
automatic trimming of transmitters 3—136
automatic weighing 1—126
automation 1—20, 32
automation-dispatcher 1—9
automation equipment 4—40
automaton 1—10
autonomous inverter 1—452
autonomous relay system 3—264
autooscillation link 1—10
autooscillation regime 1—10
autooscillations 1—9
autosyn 3—298, 314
autotransformer 1—44
auxiliary charge carriers 2—380
avalanche break down 2—143

B

balanced circuits 1—101
balanced-current telemetry system 3—485
balanced modulator 2—320
balancers 1—101
ballistic method 1—102
band-elimination (bandrejection) filter 4—248
band filter 3—17
bandpass filter 4—253
band theory 1—431
barreter 1—102
barrier capacity 1—392
barrier layer 1—402
barrier-layer rectifier 1—119
beat 1—104
beating 1—104
bellows 3—322
bias 3—371
bichromatic (dichromatic) pyrometer 2—505
bidecimal notation 1—293
binary coded (notation) system 1—295
binary function 1—293
binary number system 1—292
bio electronics (medical electronics) 2—261
bionical simulation 2—304
bionics 1—105
bit 1—477
«black box» 4—324
block diagram 3—442
blocking 1—108
blocking contact 1—109
blocking contactor 1—109
blocking generator [oscillator] 1—107
blocking layer 1—402
blow out chamber 1—390
blow out coil 1—389
Boolean algebra 1—51
boundary of stability 4—216
Bourdon tube 1—111
Bourdon tube pressure gauge 2—247
bridge circuit 2—335
bridge measurements 2—336
bridge structure 2—335
brightness pyrometer 2—501
buffer cascade 1—111
buffer stage 1—111
buffer storage (амер.) 1—411
buffer store (англ.) 1—411
business data automatic processing 1—26

C

cable 2—5
cable and acrial communication lines 2—173
calculator 1—185, 189
calculus mathematics 1—184
calculus of lambda-conversion 4—325
calibration 1—271
capacitance-resistance oscillator 1—238
capacitive coupling 1—392
capacitor 2—84
capacity of remote-control system 1—395
capacity transducer 1—279
carbon voltage controller 3—229
carrier frequency 2—384
carry 1—417
cascade amplifier 4—193
cascade coupling of asynchronous machines 2—21
cathode detector 1—315
cathode dispersion 2—25
cathode-ray coder 2—57
cathode-ray function generator 3—78
cathode-ray switch 2—67
cathode repeater 2—26
cavitational erosion 2—6
cavity resonator 3—241
centralized check 2—104
«centrotechnics» 4—289
channel 2—9
channels separation 3—143
channel transmission capacity 3—108
characteristic correction 2—124
charactron 1—429; 4—282
charge carrier diffusion in semiconductors 1—365
charge carrier generation 1—256
charge carrier mobility 3—6
check addition 2—107
check computations 2—107
check digit 2—107
checked variable 2—94
checking subroutine 2—95
choke 1—385
choke coil 1—385
choke-coupled amplifier 4—196
chopper 1—128, 167
Church's symbolic calculus 4—325
circuit selector and switch 2—114
circulation 4—292
closed circuit 1—401
closed-circuit television 3—475
closed loop 1—401
coating thickness measurement 4—56
coaxil line 2—46
coaxil resonator 3—240
code 2—48
code converter 3—65
code (in automatic control) 2—49
coder 2—58; 4—340
code relay 3—251
code word 3—364
coding 2—52
coding in remote-control 2—53
coherent electromagnetic oscillations 2—47
coincidence circuit 1—119; 3—374
collecting circuit 3—371
collision ionization 1—498
color (амер.) 2—505
colour (англ.) pyrometer 2—505
combination of operations in a machine 3—373
combination table 3—463
combined tube 2—158
communications channel 3—309
communications channel along electric power distribution networks 2—17
communications channel along electric power transmission lines 2—15
comparator device 2—452
comparing device 3—402
comparison 3—401
compensated semiconductor 3—22
compensating device 2—76
compiling method 2—77
complementary code 2—49
complementary nonlinearity 2—379
complex 2—79
complex group 2—83
complex systems 3—365
components used in computer engineering 4—244
compressed air distributor 3—165
computer 1—185, 189
computer block-diagram 1—109
computer grouping 2—81
computers symbologic 1—193
computing center (амер.) 1—192
computing centre (англ.) 1—192
computing machinery 1—187
computing office 1—189
condenser coupling 1—392
conditional jump 2—490
conditional probability machine 4—215
condition of non-interaction 1—44
conditions of infinite degree of stability 4—216
control 4—149
control computor 4—178
control device 4—186
controllability 4—176
controlled rectifier 4—177
control levels 4—170
control of operations (management) 4—158
control word 4—186
conductive coupling 2—86
conductometric concentration meter 2—109
consequent method of plan improvement 3—57
conservative system 2—87
constant component 3—57
constant resistance 3—381
constants of programme 2—88
contact 2—88
contactless control circuit of electric drives with logical elements 1—[illegible]
contactless distributor in remote control 3—166
contactless selsyn 3—317
contactor 2—93
contact switch 1—171
contact «tree» 1—310
continuous-action optimization system 2—450
continuous dependence 2—380
continuous duty 1—374
continuous signal 2—380
continuous stabilization 3—416
control area 3—204
control band 3—202
control desk 3—117
control error 3—204
control interval 3—203
control hierarchy principle 1—43
controlled damping 1—309
controlled diode 1—343
controlled function generator 3—78
controlled plant characteristic 2—409
controlled value 3—206
controlled value range 3—206
controller 2—95
controlling device 1—513; 4—43
control motor 1—511
control of analog computer 1—87
control of induction heating condition 1—462
control point 1—398
control program 3—96
control range 3—202
control statics 3—205
control system 3—205
control system continuous simulation 2—94
control time 3—202
control valve 2—42
convection current 2—83
converter 1—119
converter sensibility 3—85
converter unit for connection with actual hardware 3—85
converters protection 1—421
convex programming 1—179
copper oxide 1—399
corona discharge 2—118
corona discharge stabilizer 3—[illegible]
corona locking 2—121
corona stabilitron 3—421
coronotron 3—421
correcting circuit 2—122
corecting element 2—123
correlation 2—127
correlation function 2—125
correlation meter 2—124
correlative compensation 2—73
correlator 2—125
counting circuit 3—455
coupled circuit 3—308
coupling 2—340
coupling factor 3—310
cross-correlation function 2—126
cross distortions 1—507
cross-noises 3—44
cryogenic (supracanductive) element 2—135
crystal 2—138
crystal amplifier 2—138
crystal filter 4—249
crystal lattice defect 1—322
crystal orientation 2—456
cumulative ionization 1—498
current amplifier 4—207
current stabilizer 3—413
cut-off switch 1—171
cut-out angle 4—112
cybernetics 2—34
cybernetic simulator 2—39
cybernetic system 2—39
cycle counters 4—290
cyclerepeat timer 1—277

D

damped oscillations (vibra-tions) 1—418
damper 1—308
damping 1—308, 417
damping time 4—215
dark discharge 4—17
dashpot 1—308
data input in analog computer 1—117
data input in digital computers 1—117
data logging and monitoring machine with scanning 2—390
data processing computer 1—486
data processor 1—486
data-storage control 4—165
data transferring in standard storage elements 1—171
db 1—323
d. c. amplifier 4—201
D. C. (direct current) microdrive 2—289
D-decomposition 1—380
dead stroke 2—276
dead zone 1—430
Debye length 1—298
decade 1—301
decading 1—302
decatron 1—301
decibell 1—323
decimal notation 1—310
decoder 1—304, 323
decoding machine 3—184
decoupling filter 4—253
defectoscopy 1—319
deflection action 1—146
deflection modulation 2—328
degenerate semiconductor 3—20
degree of freedom 3—436
degree of irregularity 2—381
degree of stability 4—218
deionization 1—300
delay 1—399, 401
delay circuit 1—401
delay component 1—401
delay feedback generator 1—242
delay line 2—176
delay line blocking oscillator 1—396
delay representation 1—156
delay time 1—163
delay unit 1—401
demodulator 1—308, 323
dendrites 1—309
densitometer 1—310
density measurement 2—513
dependent inverter 1—454
derevative control 3—200
describing function 1—48
describing function method 1—211
designation system of electronic devices 4—399
desired value 1—398
despatcher panel 4—346
detecting element (англ.) 1—155
detection 1—310
detection of a signal in noise 1—171
detector 1—311
determinated machine 1—319
deviation action 1—146
deviation area 2—461
dew point gas moisture (humidity) meter 1—136
diagnostic program 1—325
diagram check 2—103
diagram of Black 2—139
diaphragm 2—275
dielectric amplifier 1—370
dielectric drying 3—453
dielectric heating 1—366
dielectric heating generator 1—213
dielectric heating of thermoplastic materials 1—369
dielectric heating in waveguide and cavity resonator 1—368
dielectric leakage measurement 1—371
dielectric resistance 3—379
differential amplifier 4—193
differential manometer with elastic elements 2—246
differential measurement 1—361
differential-pressure belltype monometer 2—246
differential rent method 1—362
differentiating circuit 1—363
differentiator 1—362, 363
diffusion capacity 1—393
diffusion length 1—364
diffusion time of charge carrier 1—162
digital adder 4—308
digital coding of conceptions 4—328
digital computer 4—293
digital computer applications 4—310
digital computer control desk 3—119
digital computer counter 4—307
digital computer output equipment 1—170
digital computer structure designing 3—105
digital computer system of central control 4—171
digital control computer 4—179
digital control computer structure 4—187
digital differential analyser 4—306
digital indicating electron tube 2—157
digital main line 2—210
digital measuring devices 4—309
digital simulator 2—318
dimensions relay 3—255
diode 1—336
diode characteristics 1—344
diode function generator 3—75
diode limiter 1—343
diode multiplier 1—343
diode parameters measurement 1—343
diode voltmeter 1—343
direct-action controller 3—223
direct code 2—52
direct component restorer 1—158
direct current coupling 1—209
disc coder 2—59
disciplined machine 1—319
discrete action controller 3—211
discrete optimizing system 2—449
discrete signal 1—345
discrete signal distance transmission 1—349
discrimination 1—439; 3—146
discriminator 1—316, 345
dislocation density 2—514
dislocation in semiconductors 1—345
dismountable electronic tube 2—152
dispatching 1—346
dispatching desk 3—116
dispatching station 3—120
display unit 2—463
dissipative function 1—348
distance measuring 1—356
distortion elimination 1—507
distortion factor 2—43
distributed capacity 1—395
distributed induction 1—458
distributed objects 3—173
distributed parameter 2—469
distributed parameters amplifier 4—205
distributor 3—163
disturbance 1—148
disturbance state 1—149
disturbance storage 2—361
disturbed motion 1—148
donor 1—379
«don't care» condition 1—102
dosing tank 1—375
double diode 1—338
double line 1—297
double modulation 2—327
double pulse modulation 2—327
drying 3—448
dual control 1—385
duality theory 1—294
dunatron oscillator 1—213
duplication 1—388
duration of self-regulation 3—288
duty ratio 3—356
dynamic accuracy 4—64
dynamic balance 1—334
dynamic behavior 1—332
dynamic compensation 1—327; 2—73
dynamic design 1—332
dynamic error 1—328
dynamic programming 1—333
dynamic properties correction 2—124
dynamic range 1—332
dynamic responses of automatic measurement means 1—331
dynamic system 1—329
dynamoelectric pulse generator 1—222
dynamometer 1—335
dynatron effect 1—336

E

earth resistance 3—379
echo-signal 4—441
economic efficiency of automation 4—352
edge-freguency 1—272
effective mass 2—248
effectiveness of information transmission in telecontrol 4—440
efflux viscometer 1—130
elastic deformation contact (transfer) 4—188
elastic element 4—187
elastic feedback controller 3—224
electric actuator 1—512
electrical concentration 4—401
electrical conductance 4—413
electrical curing 4—367
electrical dust collection 4—421
electrical filter 4—258
electrical heat generator 1—213
electrical regulator 3—231
electrical relay element 3—270
electrical resonance relay 3—257
electrical separation 4—416
electrical signal magnetic recording 2—214
electrical spinning 4—415
electrical teaseling 4—362
electric circuit 2—109
electric control motor 1—512
electric drive optimal control 2—434
electric drive power coefficient 2—132
electric drive protection 1—427
electric drives blocking [interlock] 1—108
electric machine compounding 2—70
electric motor mechanical characteristics 2—278
electric network simulator 2—318
electric power system cybernetics 2—37
electric printing 4—409
electric servo motor 1—512
electro-acoustic effect 4—362
electrochemical converter 3—84
electro-contact machining 4—367
electro drive dynamic braking 1—334
electro-dyeing 4—405
electrodynamic radiator 4—366
electro-erosion traetment 4—430
electro-filter 4—422
electro-glazing 4—364
electrohydraulic controller (regulator, governor) 3—231
electrohydraulic effect 4—364
electro-luminescent element 4—370
electro-luminescent screen 4—369, 370
electrolytic tank 4—369
electromachining 1—88
electromagnetic carbon-pile stabilizer 3—414
electromagnetic relay 3—258
electromagnetic voltage regulator 3—215
electromechanical amplifier 4—211
electromechanical controller 3—233
electromechanical converter 3—82
electromechanical dimensions transducer 1—283
electromechanical distributor 3—170
electromechanical filter 4—261
electrometer amplifier 4—211
electrometer tube 2—157
electrometric thyratron 4—52
electron beam (cathode-ray) tube 4—391
electron beam distributor 3—170
electron beam oscillograph 4—393
electron beam tetrode 2—208
electron beam treatment 4—388
electron beam welding 3—305
electron conductivity 3—94
electron emission 4—379
electronetwork regime control 4—163
electronic apparatus design 4—385
electronic compensator 2—73
electronic computer 4—374
electronic computer operation time diagram 1—159
electronic control computer 4—379
electronic device 4—397
electronic digital computer 4—379
electronic digital computer check 2—103
electronic digital computer debugging 2—361

electronic generator 1—249
electronic instrumentation reliability 2—357
electronics apparatus testing 1—515
electronic stabilizer 3—414
electronic switch 2—68; 4—397
electronic voltage regulator 3—219
electronic wobbulator 1—227
electron hole 1—391
electron-ion pulse generator 1—223
electron microscope 4—394
electron multiplier 4—397
electron optics 4—374
electron tube voltmeter 2—159
electron valves steady state characteristics and parameters 3—432
electron-wave tube 2—159
electro-optical light modulator 4—408
electrophotography 4—429
electrophysical and electrochemical treatment of materials 4—422
electropneumatic converter 3—83
electro-pulse machining 4—366
electro-spark machining 4—366
electrostatic generator 1—249
electrostatic precipitation 1—205
electrostatic processes 4—380
electro-treatment of wool 4—404
emergency stop 1—9
emission photo-cell 4—279
emitter follower 4—433
engineering cybernetics 2—36
engineering psychology 3—112
entrainment of freguency 1—419
entropic stability 4—435
entropy 4—435
E-entropy 4—437
equivalent admittance 1—48
equivalent circuit 4—351
equivalent circuit of transistors 4—84
equivalent load 4—350
erasure of information 3—436
ergonomics human engineering 4—438
error 1—328; 2—523
error-detection and correction code 2—50
error equation 2—465
error signal 2—465
estimation of quality 2—26
etching 4—65
event 3—372
excess electron holes 1—441
excess electrons 1—441
excitation system 1—143
exponential units 4—355
external storage (амер.) 1—411
external store (англ.) 1—411
extraction of charge carriers 4—355
extrapolation 4—356
extremal controller 3—231
extremal system 4—357
extremal system with derivative measurement 4—360
extremal system with storage of the extremum 4—359
exucutive organ 1—513

F

fathometer 4—441
feedback 2—394
feeder 4—244
Fermi quasilevel 4—237
ferrite block 2—140
ferrite diode cell 4—238
ferrite matrix 4—238
ferrite multihole plate 4—239
ferrite storage 4—240
ferrite transistor cell 4—243
ferromagnetic semiconductor 3—23
ferromagnetic voltage stabilizer 3—406
ferroresonant voltage stabilizer 3—408
fiber optics 2—424
fiction 4—102
fidelity of information transmission 2—478
field emission 1—45
field simulation 2—306
filled band 1—404
filtering 4—262
final control element 1—513
final stage 2—412
finite automata 2—86
first approximation method 2—475
fixed action relay member 3—269
fixed point 1—416
flam detection 1—319
flat switching circuit structure 2—511
float densimeter 2—512
floating action controller 3—207
floating address 1—49
floating point 1—415
floating point method 1—416
floating point number representation 2—386
float level gauge 1—290
flow chart 1—110
flow diagram 1—110
flow element 3—110
flow meter with flow marking 3—178
flow rate measurement 3—173
flow table 3—462
fluctuation 4—266
fluctuation noise 1—381
fluctuation processes in electronic devices 4—263
fluid jet control devices 3—438
fluid pressure transducer 1—277
focusing acoustic system 4—268
forbidden band 1—415
forbidden condition (relay circuit) 1—415
force balance pressure gauge 1—278
forced linearization 2—164
forced oscillations 1—172
four-layer semiconductors 4—326
four-layer switch 2—483
four-pole 4—325
fractional rational function 1—381
frequency 4—314
frequency band 3—17
frequency changer 3—80
frequency control 1—39
frequency controller 3—230
frequency control of motors 4—318
frequency converter 1—120
frequency converter characteristic slope 2—140
frequency cut-off 3—402
frequency deviation 1—299
frequency discriminator 1—437; 4—319
frequency distortions 1—506
frequency divider 1—305
frequency division and multiplexing of channels 4—316
frequency meter 4—323
frequency method 4—319
frequency modulated telecontrol system generator 1—247
frequency modulation 2—328
frequency modulator 2—323
frequency multiplier 4—143
frequency output transducer 1—284
frequency properties of transistor 4—83
frequency response 4—315
frequency selector 3—312
frequency sensitive detector 1—317
frequency spectrum 3—388; 4—322
frequency stabilization 3—417
frequency stabilizer 3—414
frequency-type telemetry system 3—485
full automation 3—16
fullwave rectifier 1—314
fumigation 4—367
Δ-function 1—307
functional circuit machine 4—280
function generator 3—74
functions setting in computer 1—397

G

gain amplification factor 4—190
gain-frequency characteristic 1—61
gain-phase characteristic 1—60
gain stabilization 3—417
galvanic coupling 1—209
game theory 1—434
gamma-ray flaw detection 1—209
gas analysis 1—195
gas discharge rectifier 1—207
gas discharges 3—147
gas-filled phototube 1—204
gas-filled tube rectifier 1—207
gas ionization 1—497
gas moisture (humidity) measurement 1—137
gate 1—119
generalized coordinate 2—114
generalized frequency response 4—316
generalized portrait 2—393
general minimal form 2—409
generation of random numbers 3—36
generator dynamic characteristic 1—329
generator pulse regime 1—150
generator regime 1—251
germanium 1—256
germanium diode 1—337
germanium transistor 4—68
glass laser 3—435
glow discharge 4—55
glow-discharge light source 1—204
glow-discharge stabilizing tube 3—423
glow-discharge thyratron 4—51
glow-discharge tube 1—207
goal-seeking system 3—293
grading machine 3—383
graduation 1—271
graphechon 1—272
graphic panel 1—272; 2—297
graphs theory 1—272
grid bias detector 1—313
grid detector 1—315
grid leakage 4—224
ground 1—399
grouped operation 1—273
grouped voltage control 1—273
growth of monocrystals after Czochralski 1—181
guidance 4—149

H

hair hygrometer 1—259
half-adder 3—49
Hall effect electromotive force traducer 1—290
handwriting recognition 3—160
harmonic analyser 1—210
harmonic balance 1—211
harmonic balance method 1—211
harmonic generator 1—213
harmonic input 1—212
harmonic linearization 2—163
harmonic motion 1—212
harmonic oscillations (vibrations) 1—210
harmonic oscillator 1—213
harmonic spectrum of signal 1—211
harmonic synthesizer 1—211
hasard of relay elements 3—273
heat converter 4—31
heater power circuit 2—360
heat-limited servomechanism 3—392
heat treatment of conductor 4—
heavy current impulse generator 1—221
heavy current pulse generator 1—221
heptode 1—256
hermetic sealing of electronic devices 1—258
heterodyne 1—259
heuristic program 3—97; 4—347
heuristic programming 4—347
hexode 1—213
high-frequency alternator for ultrasonic transducer 4—133
high-frequency amplifier 4—192
high-frequency communications channel 2—14
high-frequency glueing 3—356
high-frequency transformer 4—
high-frequency welding 3—302
high-frequency welding of thermoplast 3—303
high harmonics in convertors 1—
high pass filter 4—247
high-power tetrode 3—235
high-speed magnetic amplifier 2—
high-speed quick-response 1—
high-speed response of remote-control systems 1—111
high-speed servomechanism 3—
hodograph 1—270
hole 1—391
hole conductivity 3—94
homeostasis 1—270
homomorphism 1—271
human engineering 3—112
Hungarian method 1—118
hunting period 3—286
Hurwitz criterion 1—274
Hurwitz determinant 1—274
hybrid computer 2—65
hydraulic accumulator 1—
hydraulic amplifier 1—262
hydraulic channel 2—11

hydraulic controller 3—209
hydraulic control motor 1—259
hydraulic differential analyzer 1—470
hydraulic distributor 3—165
hydraulic drive 1—261
hydraulic integrator 1—265
hydraulic motor 1—264, 267
hydraulic power cylinder 1—270
hydraulic quadrant 2—27
hydraulic servo 1—261
hydraulic servomotor 1—259
hydraulic speed controller 3—226
hydraulic throttle 1—382
hydrodynamic ultrasound transducer 1—264
hydrogen ion concentration measuring 2—110
hydrophone 1—270
hydrostatic densimeter 2—511
hygroscopic dilatometric gas moisture (humidity) meter 1—133
hygroscopic electrochemical gas moisture (humidity) meter 1—134

I

iconoscope 1—448
IFAC (International Federation of Automatic Control) 2—274
ignitron 1—432
image 2—393
image converter tube 4—393
image translator 4—393
imaginary frequency response 4—316
impact ionization in semiconductors 1—498
impedance 3—381
impedance coil 1—385
impoverished layer 2—392
impulse element 1—450
impulse front 1—448
impulse response 1—448
impulse signal 1—450
impulse thyratron 4—47
impurity diffusion in semiconductors 1—365
inadmissible competition 2—370
independent and interacting control 3—198
independent control system 3—201
indexes of quality 2—26
index of oscillation 2—60
index register 3—190
indicating neon tube 2—149
indications summation in telemetering 3—445
indirect-action controller 3—221
indirect measurements 2—130
induced combinative light diffusion 3—172
inductance 1—458
inductance coil 1—458
inductance pick-up 1—279
induction flowmeter 3—176
induction heater 1—458
induction heating 1—463
induction heating current frequency 1—462
inductive coupling 1—458
inductive pick-off (англ.) 1—289
inductive pickup (transducer) (амер.) 1—289
inductor 1—458
industrial electronics 3—108
industrial process simulation on digital computers 2—308
industrial remote signalling 1—356
industrial telesignallisation 1—356
industrial television 3—477
influence machine 1—249
information 1—492
information carrier 2—386
information coding levels 4—189
information language 1—491
information processing 1—479
information processing language 4—444
information quantity 1—478
information readout time 1—162
information representation 1—482
information retrieval 1—479
information search 1—490
information source 1—521
information system 1—489
information theory 1—483
information transmission rate (speed) 1—483
information unit 1—477
infrared engineering 1—493
infrared spectroscopy 3—391
inhibitor circuit 1—414
initial conditions in an analogue computer 2—369
initial value 2—368
injection contact 2—91
injection in depletion layer 1—468
injection of minority layer 1—468
input 1—146, 167
input alphabet 1—167
input and output control 4—150
input capacitance 1—393
input coordinate 2—114
input impedance 3—379
input sequence 3—57
input signal 1—169
input transformer 4—92
input unit 1—167
input value 1—167
input variable 3—206
insensitivity 2—385
instability 2—385
Institute of automation and remote control 1—469
instruction 2—63
instruction address change 2—476
instruction address change mark 2—476
instruction by remote control 4—5
instruction code 2—50
instruction counter 3—458
instruction forming 2—63
instruction machine 2—65
instruction main line 2—210
instruction modification 2—62
instructions register 3—190
instructions restoration in routines (in programs) 1—158
instruction structure 3—440
instruction system 2—62
insulation resistance 3—379
integer programming 4—287
integral action controller 3—207
integral estimation method 1—469
integral transformation 1—469
integrated (overall) automation 2—82
integrating network 1—472
integration 1—472
integrator 1—472
intellectual ability amplifier 2—344
intensity telemetering system 3—483
intermediate frequency amplifier 4—203
intermediate frequency filter 4—253
intermittent controller 3—222
internal impedance 3—379
International Federation of Automatic Control 1—524
international unit system 2—274
interpolator 1—475
interpretation method 1—476
inter-stage transformer 4—97
intrinsic photoeffect 1—142
introduction program 3—96
invariance 1—450
invariant control system 3—202
inverse collector current 2—398
inverse structure 1—451
inversion layer 1—451
inverter stage 1—451
ion excitation of motor-generator system (set) 1—499
ionic capacitor 1—501
ionic converter 3—65
ionic device 1—501
ionic discharger 1—504
ionic drive power coefficient 2—131
ionic grid semiconductor 3—22
ionic medium frequency generator 1—225
ionization flowmeter 3—176
isochrone region 1—447
isolation of stability regions 4—217
isomorphism 1—446
iteration 1—524
iterative search 3—11
iterative structure 1—523

J

jet unit 3—439
junction 3—151

K

Kelvin effect 3—356
kenotron 2—32
kenotron rectifier 2—33
keyboard computer 1—186
kinescope 2—40
kipp relay 2—40
klystron 2—43
klystron amplifier 2—44
klystronoscillator 1—230
kobol 2—46
Kotelnikov's theorem 2—130
kryosar 2—137

L

lacquer coatings drying by induction heating 3—452
lag network 1—468
lag representation 1—156
lag time 1—163
laser 2—144
law of control 3—202
lead 3—60
leading circuit 2—422
leading element 2—422
lead-lag circuit 1—474
learning machine 2—398
Liapunov's method 2—209
lifetime of charge carriers 1—162
light and image amplifiers 4—190
lighthouse tube 2—147
limited action 2—410
limiting controller 3—221
limit switch 1—171
limit value 3—60
linear distortions 2—173
linearization 2—163
linearization range 2—163
linear plants self-adjusting model 3—290
linear programming 2—170
linear system 2—169
liquid concentration measurement 2—111
liquid set-edge transducer 1—264
liguids moisture (humidity) measurement 1—139
load action 1—146
load circuit 2—347
local check 2—98
local control device 4—171
local levels 2—208
locally-continuous function 2—142
local network protection 1—422
logarithmic amplifier 4—194
logarithmic computing circuit 2—179
logarithmic gain and attenuation 2—179
logarithmic gain-frequency characteristic 1—61
logarithmic phase frequency characteristic 4—226
logic 2—180
logical circuit 2—204
logical circuit operator 2—413
logical circuits equivalence 3—130
logical circuits equivalent transformations 3—131
logical diagram 2—199
logical element 2—205; 4—431
logical function minimal member 2—294
logical machine 2—193
logical operation 2—198
logical scale 2—204
logical scheme 2—203
logic thyratron 4—49
long line 1—371
low-frequency amplifier 4—200
low-frequency indiction heating 1—466
low-frequency transformer 4—97
low pass filter 4—250
lumped capacity 1—396
lumped induction 1—458
lumped parameter 2—469
lumped plants in remote control 3—385

M

machine operating cycle 3—469
machine operation 2—421
machine operation synchronizing 3—348
machine reliability 2—353

machine translation 2—257
machine word 3—365
machine words length 3—147
machine zero 2—257
«magic eye» 1—457
magnesyn 2—210
magnet carrier 2—227
magnetic amplifier 2—229; 4—195
magnetic amplifier electric drive control 2—233
magnetic blowout 1—390
magnetic converter 3—65
magnetic coupling 1—458
magnetic disc 2—224
magnetic drum 2—222
magnetic flux stabilizer 3—404
magnetic gas analyser 1—196
magnetic head 2—213
magnetic ink 2—222
magnetic measurements 2—220
magnetic modulator 2—225
magnetic recording methods 2—219
magnetic relay 3—251
magnetic resistance 3—380
magnetic starter 2—228
magnetic tape 2—216
magnetic tape zone 1—429
magnetization phenomenon simulation 2—312
magnetomechanical gas analyser 1—197
magnetometer 2—235
magnetostriction 2—239
magnetostriction oscillator 1—234
magnetostriction transducer 1—280
magnetostrictive converter 2—238; 3—69
magnetostrictive filter 4—250
magnetostrictive materials 2—237
magnetostrictor 1—234
magnetron 2—211
magnetron oscillator 1—233
magnetron type instruments 2—212
magnistor 2—213
magslip 3—314
main charge carriers 2—457
main input 2—457
majority logic 2—184
malfunctioning 3—301
malfunctioning (machine failure) analysis program 3—95
manipulated variable 4—186
«man-machine» system 3—352
mark-pulser generator 1—236
maser 2—240
mass flowmeter 3—177
mass spectrometer 2—250
master oscillator 1—215
matched load 3—374
matching device 3—375
matching transformer 4—101
mathematical linguistics 2—160
mathematical logics 2—184
mathematical programming 2—255
mathematical simulation 2—306
maximum principle 2—241
mean-square deviation 2—460
mean-square error 2—465
measurement error 2—523
measurement methods by eddy currents 1—444
measurement of temperature 4—18
measuring instrument calibration 2—7
measuring instruments classification 1—445
measuring transformer 4—96
mechanical power amplifier 2—279
mechanical quality factor 1—375
mechanical relay 3—251
mechanical ultrasonic emitter 2—278
medium frequency generator 1—234
memistor 2—275
memory zone 1—430
mercury arc bulb (tube of valve) 3—282
mercury arc rectifier 3—284
message source 1—521
metering pump 1—375
meter quality 1—374
meter reading variation 1—115
method of potentials 3—58
method of small parameter 2—243
method of solutions sewing 3—92
method of trapezoidal frequency responses 4—101
microalloy transistor 4—73
microcircuit 2—291
microelement 2—292
microminiaturization 2—283
micromodule 2—286
micromodule digital computer construction 2—287
microprogrammed control in digital computers 2—290
microswitch 2—282
microwave amplifier 4—206
microwave devices 4—394
microwave transformer 4—99
Mikhailov's criterion 2—296
miniature tube 2—148
minimax 2—293
minimization 2—294
minimum-phase system 2—293
mismatch 3—173
mixed base notation (ам.) 1—402
mixed control system 3—203
mixed radix notation (англ.) 1—402
mixed servomechanism 3—361
mixed strategy 3—371
mixer 3—371
mix-type throttle 1—384
mobility degree 3—6
modal logic 2—192
mode filter 4—257
model system optimization 2—450
modular system automatic control 1—46
modulation 2—324
Δ-modulation 1—307
modulation in remote-control 2—325
modulator 2—320
module 2—319
molecular amplifier 4—195
molecular electronics 2—328
molecular generator 2—329
molecular generator (oscillator) 1—236
monitoring feedback signal (англ.) 1—270
monocrystal 2—329
monotonous process 2—330
Monte-Carlo method 2—330
motor-generator set 1—252
motor pulse control 1—449
motor stage 1—513
movable-electrode electron tube 2—280
moving wave 1—149
multiaddress machine 2—298
multichannel telemetering system 3—484
multifold phase plane 4—225
multiinput controller 3—224
multiinput servomechanism 3—362
multiloop control system 3—203
multiple check 2—98
multiple electron tube 2—67
multiple modulation 2—327
multiple switching check 2—98
multiple-valued logic 2—190
multiplication of charge carriers at collector junction 4—141
multiplying device 2—486
multipoint remote transmission 1—349
multipole relay circuit connection 2—298
multiposition controller 3—213
multiposition relay element 3—266
multiprogramming 2—339
multipulse controller 3—213
multiregister digital device 2—298
multistep memory system 2—299
multistep throttle 1—382
multitact relay system 3—265
multiterminal relay network 3—267
multivariable function generator 3—76
multivibrator 2—337

N

natural form of number representation 1—396
negative impedance 3—380
neper 2—380
nephelometer 2—385
nerve networks 2—381
network analyser 3—182
network damping (attenuation) 1—417
network driven inverter 1—459
neuristor 2—370
neuron simulator 2—371
neutral controlled plant 2—374
neutralization 2—373
nine number system 1—299
noise 3—42; 4—346
noise-eliminating devices 3—46
noise factor 4—345
noise generator 1—248
noise immunity 3—45
noise in electronic devices 4—346
noise level 4—188
noise proof feature 3—48
noises devices 4—343
noise temperature 4—343
noise type signal 4—345
noise voltage 4—343
noncontact electrical relay 3—257
noncontact relay element 3—258
nondestructive check methods 2—100
nondestructive reading 3—459
nonindependent discharge 2—382
nonlinear bridge 2—332
nonlinear distortions 1—507; 2—378
nonlinear effects in acoustical field 2—379
nonlinear element 2—376
nonlinear function generator 2—380
nonlinearity 2—378
nonlinear programming 2—376
nonlinear system 2—374
nonstationary field checking 2—382
nonstationary process 2—383
nonvolatile storage (амер.) 1—412
nonvolatile store 1—412
normal Markov algorithms 2—386
normal noise 4—342
notch generator 1—236
not-circuit 1—452
not-gate 1—452
nouvistor 2—387
nozzle-flapper 3—378
n-type conductivity 3—94
null-balance device 2—388
null indicator 1—457
null method 2—73
number mantissa 2—247
number of addresses 1—49
number order 3—56
number representation in instruction code 1—403
number represented with a floating point 2—386
number system 3—351
numerical analogue 4—306
numerical characteristics of measurement results 4—329
Nyquist criterion 2—359

O

objective words identity 3—62
octal notation 1—159
octode 2—412
ondometer 1—154
one-sided storage (memory) 2—381
one-tact relay system 3—265
on-off control 3—199
on-off (two-position action) controller 3—210
open circuit 3—145
opening or closing of relays 3—260
operand 2—412
operating state of relay circuit 3—129
operating units (cells) 4—447
operating units spairing 4—353
operational amplifier 2—416
operational amplifier zero drift 1—380
operational logical circuit of digital computer 2—195
operational magnetic amplifier 2—420
operational programming method 2—415
operation decoder 2—416
operations research 1—518
ophitron 2—465
optical-acoustic gas analyser 1—198
optical communication 3—310
optical communications channel 2—19
optical gas analyser 1—199
optical pyrometer 2—501
optical relay 3—254
optical spectroscopy 3—393
optimal control 2—431
optimal control criteria 2—425
optimal filter 4—251
optimal strategies 2—437
optimal systems 2—436
optimal systems statistical synthesis 3—337
optimal systems synthesis 3—331
optimal value 2—431
optimization system 2—446
optimizer 2—440
optimizing peak-holding controller 3—231
option switch (switchboard) 2—67
optron 2—451
organic semiconductors 3—29
organization of industrial management 2—453
origin frequency 3—55
orthicon 2—457
oscillating circuit 2—60, 61
oscillating conditions 2—62
oscillating process 2—61
oscillating regulator 3—208
oscillations 3—287
oscillations excitation 1—143
oscillation speed 2—60
oscillation synchronization 3—347
oscillation tube 1—254
oscillator 4—271
oscillator tube (valve) 1—254
oscillogram time-marks 2—278
oscillograph 2—457
oscillographic cathode-ray tube 2—459
outer work function 3—128
output 1—183
output alphabet 1—184
output axis 1—183
output capacitance 1—393
output sequence 3—57
output signal 1—184
output transformer 4—94
output unit 1—183
output value 1—183
output variable 3—206
overflow attribute 2—489
overlapping operations 3—373
overshooting 2—489
overvoltages in valve installations 2—488

P

pandemonium 2—467
parallel-action computer 2—467
parallel analog computer 1—78
parallel computing channel multiplier 2—300
parallel phase resonance 1—92
parallel-serial action computer 2—468
parallel-serial structure 2—468
parallel stabilization 3—416
paramagnetic quantum amplifier 2—469
parameter-dependent operator 2—412
parameters of a transistor 4—77
parametric amplifier 2—469; 4—200
parametric diode 1—339
parametric domain 2—469
parametric programming 2—472
parametric resonance 3—238
parametric space 3—109
parametron 2—473
parasitic connection 2—467
partial radiation pyrometer 2—501
particles charging in corona electric field 1—416
particles motion in corona electric field 1—291
particular conductivity 3—94
particular ionization semiconductor 3—23
passing band 3—17
patching panel 2—347
pattern 2—393
pattern recognition 3—154
payment 2—509
peak transformer 2—500
peak voltmeter 2—500
pedestal voltage unit 1—521
penthode 2—474
percent deviation bridge 2—334
perceptron 2—493
perforator 2—494
performing operations speed 3—358
periodicity condition 2—493
periodic mode 2—492
periodic motion 2—493
permanent storage 1—412
permanent store (англ.) 1—412
PERT — Program Evaluation Review Technique 2—493
perturbation 1—148
phantastron 4—236
phase detector 1—316
phase discriminator 4—229
phase distortions 1—507
phase frequency characteristic 4—226
phase inverter 4—229
phase lag 2—465
phase lead 2—422
phase margin 1—440
phase meter 4—230
phase modulation 2—328
phase modulator 2—323
phase plane 4—225
phase plane method 4—227
phase portrait 4—229
phase-sensitive null indicator 4—235
phase-sensitive rectifier (detector) 1—177
phase shift 3—312
phase shifter (shifter) 4—227
phase shifting circuit 4—232
phase shifting devices of controlled rectifiers 4—233
phase space 4—226
phase space decomposition 3—141
phase splitter 4—232
phase stability margin 4—217
photoconductive effect 1—142
photodiode 4—272
photoeffect 4—280
photoelectric amplifier 4—207
photoelectric colorimeter gas analyser 1—203
photoelectric displacement transmitter 1—281
photoelectric emission 1—141
photoelectric properties of semiconductors 4—275
photoelectron emission 4—278
photoelectron multiplier 4—278
photo-e. m. f. 4—275
photoengraving 4—273
photomixer 4—273
photoresistors 4—274
phototransistor 4—275
pick-up 1—275
pick-up characteristic linearization 2—168
PI-controller 3—211
PI-device (element) 1—446
piece-wise characteristic 2—142
piercing voltage 2—362
piezoelectric converter 3—72, 123
piezoelectric effect 3—125
piezoelectric materials 3—121
piezoelectric transducer 1—281
plant characteristic table 3—461
plasma phase-shifter 4—228
plate detector 1—313
plate load 1—88
pneumatic adder 2—517
pneumatic analog computer 1—190
pneumatic analog computing device 1—190
pneumatic cable 2—6
pneumatic cell 2—7
pneumatic channel 2—12
pneumatic controller 3—221
pneumatic delay unit 2—514
pneumatic diaphragm servomotor 2—516
pneumatic dimensions transducer 1—282
pneumatic ejector 4—350
pneumatic function generator 2—518
pneumatic integrator 1—470
pneumatic inverter 1—456
pneumatic long line 1—372
pneumatic operational amplifier 3—280
pneumatic piston servo-drive 2—520
pneumatic piston servomotor 2—516
pneumatic plug connector 2—519
pneumatic relay with nozzle-flapper 3—254
pneumatic simulator 2—317
pneumatic throttle 1—383
pn-function 4—380
pn-transition 2—521
point-contact transistor 4—75
point-to-point mapping graph 4—58
polarograph 3—41
positional computation system 3—8
position error 3—431
potential divider 1—305
potential method 1—362
potential regulator 3—58
potentialscope 3—58
potentiometer 3—59
potting of electronic equipment 1—400
power amplifier 4—195
power balance method 4—434
power density spectrum 3—388
power source 1—522
power systems dispatching 1—347
power transformer 4—100
predicate 3—60
prediction 3—62
prediction theory 3—63
pressure gauge 2—244
pressure pick-up 1—278
pressure transducer 1—278
preventive check 2—100
primary element (амер.) 1—155
primary feedback signal (амер.) 1—270
prime implicant of function 1—448
printed characters recognition 3—159
printed circuit 2—499
printing device 2—498
probabilistic machine 1—122
probability 1—125
problem formulation check 2—98
problem of moments 3—93
process algorithmization 1—59
process control 1—20
professional qualification in automated production 3—110
program 3—94
program checking 1—302
program control 3—104
program control system 3—104
programme control 3—200
programme controller 3—222
programme cycles 4—290
programmed check 2—99
programmed checking (амер.) 1—516
programmed checking system 1—518
programme error detection and correction 2—461
programme logical scheme 2—202
programme operators 2—416
programme organization 2—452
programme splitting 3—143
programme testing (англ.) 1—516
programming 3—97
programming languages 4—445
programming programme 3—101
programming programme method 3—103
progressive wave 1—149
proper oscillations 3—372
property to oscillate 2—61
proportional controller 3—223; 227
proportional control limits 3—205
proportional control zone 1—430
proportional-plus floating control 3—199
proportional-plus integral controller 3—211
protection in remote control system 1—419
protection of alternating current supply lines 1—423
protection of direct current supply lines 1—425
protective relay 3—249
pseudolinear system 3—112
pseudorandom number method 3—112
psychrometer 3—116
pulling coil 1—167
pulling of frequency 1—418
pulse action 1—449
Pulse amplifier 4—193
pulse-amplitude modulation 2—327
pulse-code modulation 2—327
pulse cold-cathod electron tube 2—138
pulse controller 3—212
pulse counter 3—456
pulse distortion 1—505
pulse duration 1—373
pulse forming 4—269
pulse-frequency modulation 2—328
pulse height discriminator 1—62, 345
pulse (impulse) generator 1—216
pulse input 1—449
pulse modulation 2—327
pulse modulator 2—321
pulser 1—216
pulse regime 1—450
pulse relative duration 3—356
pulses delay 1—399
pulse-shape correction 4—272
pulse-spacing modulation 2—328
pulse stabilization 3—415
pulse system 1—449
pulse system simulation 2—305

pulse time 1—373
pulse transformer 4—96
pulse-width modulation 2—328
pump 2—363
punched card 2—496
punched-card (punched-tape) computer 2—496
punched tape 2—497
pure fluid systems 3—438
push-button 2—45
push-button starter 2—45
push-pull amplifier 4—193
push-pull circuit 1—297; 3—121
push-pull modulation 2—327
push-push circuit 1—296

Q

Q-factor 1—374
Q-meter 2—141
qualitative methods 2—27
quality factor 1—374
quantification 1—345
quantizing 2—30
quantizing coder 3—64
quantum amplifier 2—32
quantum optical generator 2—31
quantum system 2—30
quartz-crystal oscillator 1—229
quartz resonator 3—238
quartz stabilizing 2—32
quartz wind 1—428
quasi-balanced bridge 2—331
queueing theory 2—249

R

radiation pyrometer 2—503
radiation resistance 3—379
radio and radio-relay channel 2—12
radio-control 3—140
radio-control system 3—140
radioelectronics 3—141
radio frequency alternator 1—213
radiographic flaw detection 1—209
radiographic inspection 1—209
radioisotope densimeter 2—513
radio link 3—136
radiospectroscopy 3—137
radiotelemetering 3—139
radiotelemetry 3—140
random action 3—367
random disturbance 3—367
random numbers transducer 1—284
random process 1—122; 3—367
random quantity 3—366
random variable 3—366
range mark(er) generator 1—236
raster 3—173
rate of interrogation 4—315
rate response 1—146
ratio detector 1—314
ratio pyrometer 2—505
RC filter 4—254
reactance 3—382
reactance tube 3—185
reactive power in static converters 3—186
reactor 1—385
reading 3—458
reading device 4—331
readout time 1—162
real frequency response 4—316
real-time analog computer 1—75
real-time programme simulation 2—307
receiver-amplifier electron tube 3—92
receiver-amplifier tube 2—151
receiver sensitivity 4—335
recognizing machine 4—112
recombination of charged particles 3—245
recombination radiation 3—244
recombination velocity (on the surface of semiconductors) 3—358
rectifier 1—172
rectifier instrument 1—179
rectifier transformer 4—92
rectifying contact 2—91
recursive function 3—245
redundancy 1—440; 3—234
reference 4—438
reference axis 1—398
reference input 1—398
reference value 1—398
reference voltage 2—423
reference voltage unit 1—521
regeneration 3—189
register 3—189
regulating valve 2—41
relaxation circuit 1—468
relaxation generator 1—239
relaxation oscillations 3—247
relaxation oscillator (generator) 1—242
relaxation pulse oscillator (generator) 1—219
relay 3—248
relay action 3—263
relay blocking [interlock] 1—108
relay characteristic 3—259
relay circuit 3—260
relay circuit structural formula 3—444
relay-contact member 3—266
relay-contactor distributor in remote control 3—167
relay control system 3—259
relay detecting element 1—156
relay device 3—263
relay device components 3—262
relay device operation cycle 3—470
relay device structure equivalent transformations 3—133
relay device structure realization 3—260
relay element 3—267
relay member 3—267
relay (on-off) controller 3—223
relay protection channel 2—13
relay system 3—263
relay system final control element 1—514
relay systems analysis 3—271
relay system structure 3—260
reliability 2—348
remote check 2—97
remote control 1—44, 357; 4—5, 12
remote-control channel 2—19
remote-control devices distributor 3—169
remote-control device keys 2—45
remote-control instruction 2—65
remote-control noise proof feature 3—54
remote-control signal 3—321
remote-control signal confirmation 2—32
remote-control signals selection 3—312
remote-control system 4—9
remote-control system for distributed plants 4—10
remote-control system reliability 2—355
remote-control system testing 1—514
remote-control system with frequency separation of signal elements 4—16
remote-control system with time separation of signal elements 4—13
remote input 1—360
remote measurement converter 3—72
remote measurement feedback converter 3—74
remote-measurement noise proof feature 3—51
remote multipoint (scanning) selsyn transmission 1—351
remote signalling 4—12
remote transmission 1—348
repetetive analog computer 1—78
representation of event 3—63
reproducing 1—156
reproduction 1—156
reproduction of telemetered variable 1—157
research institutions 2—364
reservation 3—234
reset coefficient (relay) 1—146
resistance 3—378
resistance amplifier 3—278; 4—196
resistance contact 2—91
resistance-coupled amplifier 3—235; 4—196
resistance coupling 1—209
resistance thermometer 4—29
resistance transducer 1—283
resistor coupling 3—278
resistor with memory 2—275
resnatron 3—235
resolution 3—146
resolving ability (power) 3—146
resonance 3—235
resonance bridge 2—334
resonance frequency 3—238
resource 3—278
response 1—146; 3—189
retardation 1—401
return (reset) instruction 2—64
reverse code 2—51
reverse conduction current 2—[illegible]
reverse conduction voltage 2—[illegible]
reverse corona 2—116
reverse diffusion 2—393
reverse-wave electron tube 2—[illegible]
reverse-wave magnetron instrument 2—20
revolving flowmeter 3—175
rewriting device 2—482
ring-balance differential manometer 2—247
ring modulator 2—322
rise time 2—362, 492
root calculator 2—115
root-locus method 3—162
root-locus technique 2—115
rotary amplifier control of electric drives 4—371
rotational speed control 3—200
rotational viscometer 1—131
Routh's criterion 3—184
runningwave electron tube 2—[illegible]

S

sampled data control 3—199
sampled data controller 3—[illegible]
sampled data system 1—449
sampling time 1—162
sanotron 3—300
saturation zone 1—429
sawteeth voltage 2—501
sawtooth current generator 1—[illegible]
sawtooth voltage generator 1—[illegible]
scale division 4—341
scale factor 4—289
scale mark 4—341
scale of the instrument 4—340
scale time 4—341
scaling 2—252
scanning 3—142, 355
scanning generator 1—241
scanning linearization 2—163
scanning search 3—14
sceptron 3—356
scheduling theory 3—151
Schottky effect 1—381
scientific and engineering data processing 2—365
Scott filter 4—257
search device 3—15
search loss 3—60
secondary emission 1—165
secondary input 1—167
secondary switching element 3—[illegible]
segregation factor 3—312
selection 1—169, 436
selective amplifier 4—193
selectivity 1—439; 3—312
selector 1—323
selenium 3—313
self-adapting 3—293
self-adjusting model 3—288
self-adjusting system 3—292
selfbias 3—371
self-excitation 3—287
self-excited oscillator 1—9, [illegible]
self-maintained discharge 3—[illegible]
self-organizing system 3—293
selfoscillation elimination 3—5
self-regulation 3—287
self-sustained emission cold cathode 2—24
self-sustained oscillations 2—370
selfteaching system of automatic optimization 3—293
selsyn 3—314
semibalanced bridge 2—334
semiconductor 3—18
semiconductor amplifier 4—201
semiconductor connection of the $A^{III}B^{V}$ type 3—30
semiconductor D. C. (direct current) converter 3—36
semiconductor devices parameters stability 3—425
semiconductor diode 1—340
semiconductor films 2—510
semiconductor heat conductivity 3—28

semiconductor instruments parameters instability 3—38
semiconductor instrument reliability 2—354
semiconductor lasers 3—31
semiconductors magnetic controlled plasma devices 3—32
semiconductor—metal contact 2—92
semiconductor multiplier 4—142
semiconductor parameters measurement 3—25
semiconductor photocell 4—278
semiconductor rectifier 3—35
semiconductor—semiconductor contact 2—93
semiconductor spares 2—179
semiconductor surface stabilisation 3—27
semiconductor tetrode 4—40
semiconductor thermoelement 4—39
semiconductor thermosensitive resistor 4—32
semiconductor thermostat 4—33
semiconductor valve 3—33
semiconductor voltage stabilizer 3—410
semiotics 3—317
sensitive element 4—336
sensitivity 4—333
sensitivity points 4—332
separately excited generator 1—243
serial computer 3—56
series stabilization 3—417
servo drive 3—363
servomechanism 3—359
servomotor 1—511; 3—319
set of messages 1—89
set point 1—398
set point adjustment 1—398
setting device 1—398
sexadecimal number base 4—339
Shannon's maze 4—337
Shannon's theorems 4—338
shared time analog computer 1—76
Sheffer's stroke symbol 4—340
shift register 3—191
shock absorber 1—308
shortcircuited line 2—122
short-time duty cycle 2—133
short-time repetitive duty 2—523
shot noise in semiconductors 1—381
shuttle algorithms 4—323
side-band transmission 2—478
signal 3—319
signal amplitude envelope 2—409
signal differentiation 1—362
signal main line 2—210
signal noise ratio 2—462
signal reception on noise background 3—86
signal reproduction 1—156
signal space 3—322
silicium 2—133
silicium carbide 2—20
silicon diode 1—338
silicon stabilitron 3—421
silicon transistor 4—71
simplex method 3—323
simulation 2—301
simulation of conditioned reflexes 2—315
sine wave generator 1—245
single-address instruction length mark 3—92
single-cycle equivalent 4—350
single-cycle pulse modulation 2—327
single-phase rectifier 1—173
single-winding transformer 4—98
sinusoidal input 3—346
skin effect 2—522; 3—356
skin tempering by induction heating 2—521
slide valve 1—429
sliding regime 3—357
slowing down circuit 1—400
small-deflection method linearization 2—163
smoke meter 1—390
smoothing filter 4—256
solar battery 3—377
solids moisture (humidity) measurement 1—140
solid state circuit 3—470
sollon 3—376
solution error 3—5
Sonar 1—265
sonic gas purification 1—204
soubroutines library method 1—103
sound image visualization 1—129
sound pressure 1—428
sounds-and-speech recognition 3—153
space structure 3—109
spacistor 3—388
spark discharge 1—509
sparkover-initiated discharge machining 1—88
spark-type induction heating generator 1—226
specialized digital computer 3—395
special minimal form 4—314
specific resistance 3—382
spectrum analyzer 1—67
speeding up of operations 4—214
speed modulation 2—328
speed of response 1—111
spiratron 3—397
square programming 2—27
stability conditions 4—219
stability criteria 4—217
stability margin 4—216
stability of periodic motion 4—222
stability of perturbed motion 4—222
stability region 4—218
stabilization 3—415
stabilization factor 3—414
stabilization system 3—414
stabilization time 3—202
stabilizator without drooping 1—446
stabilizer 3—402
stabilizing circuit 3—420
standard 4—438
standard computing block 1—107
standardization principle 2—385
standardized modular system of industrial pneumoelements 4—223
standard operator 2—414
standard registers 4—447
standard-signal generator 1—246
standard subroutine individualizing 2—87
standard subroutines 3—8
standing wave 1—149
state space 3—109
static 3—227
static accuracy 4—64
static error coefficient 1—374
static system 3—431
stationary process 3—435
stationary random input 3—435
stationary state 3—129
statistical check 2—102
statistical compensation 2—74
statistical decision theory 3—429
statistical estimations 3—425
statistical linearization 2—164
statistical search 3—15
steady state analysis 3—434
steady state behaviour 4—216
steady state characteristic 3—431
steady state characteristics of transistor 4—82
steady state error 4—216
steady state motion 4—216
step action 3—444
step-by-step distance transmission 1—349
step-by-step selector 1—507
step disturbance 3—356
stepping distributor with electromagnetic drive 3—170
stepping extremal system 4—361
stochastic programming 3—436
stop 2—457
storage 2—360
storage capicity 1—394
storage distribution 3—162
storage regeneration 2—392
storage register 4—446
storage tube 1—404
storage unit 1—407
strain gauge 4—25
strategy (in the theory of games) 3—437
streamlined throttle 1—383
stringed transducer 1—288
strobing 3—437
structural matrices 3—444
structural reliability 2—356
structural stability 4—223
sub-carrier frequency 3—6
subroutine separation 3—7
subroutines library 1—103
superconductivity 3—307
superheterodyne 3—447
supericonoscope 3—448
superorthicon 3—448
superposition principle 3—448
supersonic viscometer 1—131
supersonic waveguide 1—152
supervisory control 4—5
supply (power) transformer 4—98
supply unit 1—522; 2—506
suppression arc coil 1—389
surfacebarrier transistor 4—75
surface effect 3—356
sweep balance 1—325
sweep generator 1—227, 241; 3—308
switch 1—171
switching characteristic polyvalence 2—380
switching device 2—484
switching devices synthesis 3—334
switching line 2—178
switching matrix 2—484
switching speed of transistors 4—86
switching table 3—461
switching theory 3—272
switching time 1—164
switching transistor 4—74
sylphon 3—322
symbolic address 1—49; 3—322
symmetric structure 3—323
synchro 3—314
synchronization 3—346
synchronous communication 3—350
synchronous communication electrodynamic system 3—351
synchronous communication inductive system 3—351
synchronous communication system 3—350
synchronous detector 1—315
synchronous digital computer 3—349
synchronous relay system 3—265
synthesis 3—325
system parameter 2—469
systems stability analysis 1—65
system statistical analysis 3—427

T

tablegram 3—467
tabsol 3—466
tabular definition of functions 3—464
tabulator 3—468
tachometer generator 3—470
tag 2—247
target function 4—286
teaching complex 2—407
teaching machine 2—401
teleautomation 4—5
telecontrol system 3—473
telecontrol system pulse generator 1—217
teledynamometry 3—479
telemeter transducer 1—289
telemetering 3—479
telemetering error 3—5, 481
telemetering output block 1—184
telemetering pulse-code system 3—483
telemetering pulse-position system 3—481
telemetering system 3—481
telemetry 1—356; 4—5
telemetry indications recording 3—196
television receiver tube 3—89
television transducer 3—479
temperature controller 3—228
temperature control of induction heating 1—462
temperature of condensation gas moisture (humidity) meter 1—135
tensiometer 4—26
ternary-coded nonary number system 4—106
ternary number system 4—105
tests 4—39
tetrode 4—39
the Mössbauer effect 2—276
theory of automata 1—43
theory of automatic control 3—201; 4—166
theory of relay-contact circuits 3—266
theory of relay systems 3—272
theory of technical stability 4—219
thermal battery 4—29
thermal breakdown in semiconductors 4—28
thermal detector 1—110
thermal electron emission 4—37
thermal flow meter 3—180
thermal relay 3—255

thermal resistance of a semiconductor devices 4—27
thermal resistor 4—32
thermionic emission 4—29
thermistor bolometer 1—110
thermochemical gas analyser 1—202
thermochemical treatment by induction heating 4—283
thermo-conductometric gas analyser 1—201
thermocouple 4—30
thermoelectric cooler 4—35
thermoelectric cooling 4—36
thermoelectric generator 4—35
thermoelectric properties of semiconductors 4—34
thermoelectronic cathode 2—22
thermo=e. m. f. 4—34
thermomagnetic gas analyser 1—201
the system of elements in a digital computer 4—332
thin magnetic film 2—218
three-address computer 4—103
three-phase rectifier 1—176
threshold logics 2—192
threshold value 3—55
throttling valve 1—382
through induction heating 1—467
thyratron generator 1—246
thyristor 4—53
time-base generator 1—241
time constant 3—57
time-cycling device 3—468
time discriminator 1—161
time-division multiplexing 1—161
time lag 1—401
time modulation 2—327
time-optimal process 2—438
timepulsemultiplier-divider 1—165
time relay 3—248
time responses 1—162
time selector 1—162
torque amplification remote selsyn transmission 1—355
total radiation pyrometer 2—503
tracking of circuits 3—383
transducer 1—275
transfer capacitance 1—394
transference 3—431
transfer function 2—478, 490
transfer machine 1—35
transfluxor 4—91
transformation ratio 4—101
transformer-coupled amplifier 4—199
transformer coupling 4—101
transformer for induction heating 4—94
transient component 3—308
transient evaluation 2—491
transient graph 2—492
transient part 1—172
transient period 4—215
transient period of indication 1—165
transient process 2—491
transient response 2—491
transient response analysis 1—63
transistor 4—66
transistor amplifier 4—197
transistor bolometer 1—110
transistor converter 3—74
transistor-meza 4—86
transistor noise 4—346
transistor oscillator 1—237
transistor parameters measuring methods 4—76
transistors noise 4—84
transition table 3—462
transitron oscillator 1—247
transit time of charge carrier 1—165
translation from one code to another 2—477
transmitter 1—275, 289
transmitting television tube 2—479
transport problem 4—88
trapezoidal characteristic 4—101
travelling wave 1—149
travelling wave tube oscillator 1—236
trigger 4—103
trigger circuit 2—142; 3—397
triggering time 1—163
trimmer 4—103
triode 4—104
trochotron 4—107
tropicalization of apparatus 4—106
truncation error 2—523
tube base 4—313
tubes dynamic characteristics 1—329
tuned amplifier 4—204
tuning 2—363
tuning dial 4—340
tuning indicator 1—457
tunnel diode 1—342
tunnel diode amplifier 4—200
turbine flowmeter 3—175
turbulent throttle 1—384
Turing's machine 4—109
twin diode 1—338
twistor 3—472
two-address computer 1—297
two- (three-, multi-) color or two-wave (two wavelength) pyrometer 2—505
two-cycle detector 1—314
two-position relay element 3—266
two-state control 3—199
two-terminal relay network 3—266
two-terminal switching circuit 1—297
two-wire line 1—297
type action 4—45
type input 4—45
typical nonlinearity simulation 2—314
typotron 3—469

U

UHF diode 1—340
UHF (ultrahigh-frequency) magnetron type oscillator 2—509
ultrahigh-frequency choke 1—384
ultrahigh-frequency filter 4—254
ultrahigh-frequency generator 1—245
ultrahigh-frequency (UHF) wave generator 2—20
ultrasonic absorption 4—116
ultrasonic absorption measurement 1—442
ultrasonic atomization 4—129
ultrasonic cavitation 2—6
ultrasonic cleaning 4—122
ultrasonic coagulation 4—121
ultrasonic crystallization 4—122
ultrasonic cutting 4—130
ultrasonic degasing 1—299
ultrasonic direction finder 1—265
ultrasonic dispersion 4—129
ultrasonic drying 3—454
ultrasonic emulsifying 4—132
ultrasonic field analysis 1—520
ultrasonic flaw detection 4—119
ultrasonic flowmeter 3—181
ultrasonic focusing radiator 4—268
ultrasonic inspection 4—137
ultrasonic level gauge 4—137
ultrasonic luminiscence 2—209
ultrasonic machining 4—130
ultrasonic power source 1—522
ultrasonic pressure measuring device 4—128
ultrasonic pulse generator 4—134
ultrasonic radiator 1—441
ultrasonic receiver 3—91
ultrasonics 4—115
ultrasonic siren 4—125
ultrasonic soldering 4—124
ultrasonic technology 4—126
ultrasonic thickness gauging 4—127
ultrasonic trawling methods 4—125
ultrasonic valve generator 4—138
ultrasonic vibrometer 4—135
ultrasonic wave velocity 4—132
ultrasonic welding 3—305
ultrasonic whistle 4—141
ultrasound intensity 1—475
ultrasound velocity measurement 1—443
ultraviolet gas analyser 1—203
unbalance 3—173
unconditional transfer 2—490
undisturbed motion 2—369
unidirectional circuit 2—411
unipolar transistor 4—76
unit function 1—392
unit pulse response 3—189
unit step input 1—392
universal algorithm 1—59
universal checking machine 2—105
universal digital computer 4—144
universal machine language 2—260
universal multipole 2—298
univibrator 2—411
unsettled conditions 2—384
unstable internal state (of a switching system) 2—384
unused state 2—370
useful component 3—16
useful signal 3—16

V

vacuum electric discharge gauge 1—114
vacuum gauge 1—113
vacuum ionization gauge 1—113
vacuum photocell 1—115
vacuum radiometer gauge 1—113
vacuum tube generator for induction heating 1—231
value of the game 4—289
value sampling 2—423
values inquest order 3—56
valve 1—119; 2—40
valve amplifier 4—194
valve reactor 3—185
variable cycle duration 2—485
variable damping system 1—390
variable feedback controller 3—226
variable recorder 2—114
variable resistance 3—380
variables coefficients introduction 1—118
variable slope electron tube 2—155
varicap 1—115
varicond 1—115
variometer 1—116
varistor 1—116
video pulse amplifier 4—192
velocity constant 1—374
velocity factor 3—358
velocity head flowmeter 3—119
verifier 2—106
vibrating pneumatic drive 2—510
vibrating wire gauge 1—288
vibrator inverter 1—128
vibrometer 1—127
vibropack 1—128
vibrotron 1—129
video amplifier 1—129
video frequency 1—129
video signal 1—129
vidicon 1—129
viscosity measurement 1—132
viscous friction 1—194
voice recognition 3—152
voltage-and-current stabilizer with moving coils 3—405
voltage electronic stabilizer 3—409
voltage regulator 3—214
voltage regulator with magnetization 3—215
volumetric gas analyser 1—197
vortran (I. B. M. computer language) 4—272

W

Walter's turtles 4—148
wave level gauge 4—188
wavefront 1—448
waveguide 1—149
wavelength 1—371
wavemeter 1—154
wave resistance 1—152; 3—379
weight function 1—126
weighting function 1—448
welding by induction heating 2—165
white noise 4—341
wide-band amplifier 4—203
wobbulation 1—143
word composition 2—83
work conditions (work specifications) of switching device 3—261
working fluid (liquid) pressure 1—375
working (temporary) storage 1—413
working (temporary) store 1—413
work region 3—129

X

X-ray defect detection 3—276
X-ray tube 3—273

Z

Zener breakdown 1—428
Zener effect 1—428
zero stability 3—425
zone melting 1—430
zone of ambiguity 1—429
zone of linearity 1—429

ФРАНЦУЗСКИЕ ТЕРМИНЫ

A

absorption d'ultra-sons 4—116
accélération des opérations 4—214
accéléromètre 1—50
accepteur 1—51
accord automatique des émetteurs radio 3—136
accouplement conducteur 2—86
accumulateur hydraulique 1—259
accumulation de perturbations 2—361
action 1—146
action dérivée 1—146
action d'impulsion 1—449
action (essai) aléatoire (stochastique) 3—367
action limitée 2—410
action par charge 1—146
action par dérivation 1—146
action par déviation 1—146
action par échelons 3—444
action par «tout ou rien» 3—263
action stationnaire aléatoire 3—435
addition de contrôle 2—107
additionneur (totalisateur) numérique 4—308
admittance équivalente 1—48
adresse 1—48
adresse flottante 1—49
adresse symbolique 1—49; 3—322
aérien 1—90
affaiblissement 1—417
affaiblissement de circuit oscillant 1—417
affaiblisseur 1—100
ajustage de calculateurs électroniques numériques 2—361
algèbre de Boole 1—51
algèbre de logique 1—51
algol 1—56
algorithme 1—57
algorithmes à navette 4—323
algorithmes normaux de Markov 2—386
algorithme universel 1—59
algorithmisation du procédé 1—59
alimentateur 2—506; 4—244
allure d'amortissement 4—216
alphabet 1—60
alternateur à haute fréquence pour le transducteur ultra-sonore 4—135
amorçage d'oscillations 1—143
amortissement 1—308, 417
amortissement commandé 1—309
amortisseur 1—308
amplificateur à basse fréquence 4—200
amplificateur à bobines de self 4—196
amplificateur accordé (à résonance) 4—204
amplificateur à couplage anodique 1—89
amplificateur à courant alternatif 4—201
amplificateur à courant continu 4—201
amplificateur à demi-onde 4—200
amplificateur à diode tunnel 4—200
amplificateur à haute fréquence 4—192
amplificateur à klystrons 2—44
amplificateur à large bande passante 4—208
amplificateur à moyenne fréquence 4—203
amplificateur apériodique 4—192
amplificateur à résistances 3—235; 4—196
amplificateur à semi-conducteurs (à cristal) 4—201
amplificateur à transformateurs 4—199
amplificateur à transistors 4—197
amplificateur à tubes électroniques (électronique) 4—194
amplificateur cathodique 2—26
amplificateur cristallin 2—138
amplificateur de courant 4—207
amplificateur d'entendement 2—344
amplificateur de puissance 4—195
amplificateur des quanta 2—32
amplificateur diélectrique 1—370
amplificateur différentiel 4—193
amplificateur d'impulsions 4—193
amplificateur électromécanique (amplidyne) 4—211
amplificateur électrométrique 4—211
amplificateur en cascode 4—193
amplificateur hydraulique 1—262
amplificateur logarithmique 4—194
amplificateur magnétique 2—229; 4—195
amplificateur magnétique opérationnel 2—420
amplificateur magnétique rapide 2—233
amplificateur mécanique de puissance 2—279
amplificateur moléculaire 4—195
amplificateur opérationnel 2—416
amplificateur opérationnel pneumatique 3—280
amplificateur paramagnétique des quanta 2—469
amplificateur à paramètres répartis 4—205
amplificateur paramétrique 2—469; 4—200
amplificateur photo-électrique 4—207
amplificateur push-pull 4—193
amplificateur rhéostatique (à résistances) 3—278
amplificateurs de lumière et d'image 4—190
amplificateur sélectif 4—193
amplificateur symétrique 4—193
amplificateur T.H.F. (à très haute fréquence) 4—206
amplificateur vidéo 1—129
amplificateur vidéo d'impulsions 4—192
amplitude 1—60
analogue (modèle) numérique 4—306
analyse automatique des gaz 1—63
analyse de gaz 1—195
analyse de programme 1—302
analyse des dispositifs de commutation 3—271
analyse des régimes transitoires 1—63
analyse de stabilité des systèmes 1—65
analyse statistique des systèmes 3—427
analyseur d'amplitude 1—66
analyseur de gaz à absorption ultraviolette 1—203
analyseur des fonctions à distribution [répartition] 1—68
analyseur de spectre 1—67
analyseur d'harmoniques 1—210
analyseur différentiel hydraulique 1—470
analyseur différentiel numérique 4—306
analyseur magnétique de gaz 1—196
analyseur magnéto-mécanique de gaz 1—197
analyseur optique de gaz 1—199
analyseur optique-phonique (acoustique) de gaz 1—198
analyseur photocolorimétrique de gaz 1—203
analyseur thermochimique de gaz 1—202
analyseur thermoconductométrique de gaz 1—201
analyseur thermomagnétique de gaz 1—201
analyseur volumétrique de gaz du type manomètre 1—197
angle de coupe 4—112
anodyne 1—89
antenne 1—90
anticipation 3—60
antifading 1—40
antiferro-électriques 1—92
antirésonance 1—92
appareil à mesurer l'humidité des gaz d'après le point de rosée 1—136
appareil astatique 1—99
appareil d'arrivée de télémesure 1—184
appareil de mesure à redresseur incorporé 1—179
appareil de mesure conductométrique de concentrations 2—109
appareil de mesure de corrélation 2—124
appareil de mesure de fumées 1—390
appareil de mesure de la pression ultra-sonique 4—128
appareil de mesure ultra-sonique de niveau 4—137
appareil de recherche des racines 2—115
appareil de titration automatique 4—54
appareil de vérification 2—106
appareil d'interpolation 1—475
appareil électronique 4—397
appareil harmonique de synthèse 1—211
appareil hygroscopique dilatométrique à mesurer l'humidité des gaz 1—133
appareil hygroscopique électrochimique à mesurer l'humidité des gaz 1—134
appareillage automatique pour l'analyse de composition (des corps) de matière 1—66
appareillage de mesure automatique de la composition et des propriétés des matières 3—385
appareil magnétron à onde inverse 2—20
appareils à plasma à semi-conducteurs avec commande magnétique 3—32
appareils de mesure numériques 4—309
appareils du type magnétron 2—212
appareils électroniques à T. H. F. (très haute fréquence) 4—394
appareil ultra-sonore pour mesurer l'épaisseur 4—127
application de calculateur (calculatrice) numérique 4—310
application de calculatrice analogique 1—80
application des forces électrostatiques 4—380
application des forces électrostatiques en agriculture 4—382
application des radio-isotopes 3—134
approximation du premier harmonique 1—211
«arbre» à contacts 1—310
arbre d'entrée 1—398
arrêt 2—457
arrêt d'alarme (d'avarie) 1—9
association de circuits 3—383
astatisme d'ordre «n» 1—98
attaque chimique 4—65
atténuateur 1—100; 2—457
atténuation 1—417
attribution d'adresses réelles 3—93
audion 1—315
autodyne 4—213
auto-émission 1—45
auto-équilibrage 3—287
auto-équilibreur 3—298
auto-excitation d'oscillations 3—287
automate 1—10
automate fini 2—86
automation intégrale 2—82
automatique 1—32
automatisation complète 3—16
automatisation d'analyse des régimes dans les réseaux électriques 1—13
automatisation de documentation 1—13
automatisation de gestion et de calculation 1—26
automatisation d'élaboration de projet de calculatrice électronique 1—17
automatisation de production 1—20
automatisation des processus de fabrication 1—20
automatisation des processus industriels 1—20
automatisation de traitement d'information 1—13
automatisation industrielle 1—20
automatisme 1—32
auto-oscillations 1—9
autotransformateur 1—44
avance de phase 2—422
axe d'entrée 1—398
axe de sortie 1—183

B

balance harmonique 1—211
balayage 3—142, 355
bande de fréquence 3—17
bande de réglage proportionnelle 1—430
bande interdite 1—415
bande magnétique 2—216
bande passante 3—17
bande perforée 2—497
bande pleine 1—404
barretter 1—102
basculeur 4—103
battements 1—104
bibliothèques de sous-programmes 1—103
bioélectronique (électronique médicale) 2—261
bionique 1—105
blocage de commande électrique 1—108
blocage de relais 1—108
bloc (ensemble, unité) de retard 1—401
bloc standard 1—107
bobine à noyau plongeur 1—167
bobine d'arrêt 1—385
bobine de choc 1—385
bobine de self 1—458
bobine de soufflage 1—389
bobine d'extinction d'arc 1—389
bobine d'impédance 1—385
bobine d'induction 1—458
«boîte noire» 4—324
boucle dérivatrice 1—363
boucle fermée 1—401
bouton-poussoir 2—45
bruit 3—42; 4—346
bruit blanc 4—341
bruit croisé 3—44
bruit dans les appareils électroniques 4—346
bruit d'un transistor 4—346
bruit normal 4—342
bruits de transistor 4—84
bureau de calcul 1—189
buse-palette 3—378

C

câble 2—5
câble pneumatique 2—6
cadence de travail d'une machine 3—469
calculateur 1—189
calculateur à cartes (à bandes) perforées 2—496
calculateur (calculatrice) numérique 4—293
calculateur électronique 4—374
calculateur hybride 2—65
calculatrice 1—185, 189
calculatrice à claviers 1—186
calculatrice à deux adresses 1—297
calculatrice analogique 1—70
calculatrice analogique à fonctionnement en temps réel 1—75
calculatrice analogique à voies parallèles 1—78
calculatrice analogique-digitale 1—88
calculatrice analogique parallèle 1—78
calculatrice analogique répétitive 1—78
calculatrice asynchrone 1—98
calculatrice mixte analogique et numérique 1—88
calculatrice numérique synchrone 3—349
calculatrice pneumatique analogique 1—190
calcul de Church 4—325
calcul dynamique 1—332
calculs de contrôle 2—107
calcul statique 3—434
canal 2—9
canal acoustique 2—10
canal de liaisons 3—309
canal de liaisons à haute fréquence 2—14
canal de liaisons le long des lignes de transmission d'énergie électrique 2—15
canal de liaisons le long des réseaux de distribution d'énergie électrique 2—17
canal de liaisons optiques 2—19
canal de protection à relais 2—13
canal de télécommande 2—19
canal hydraulique 2—11
canal pneumatique 2—12
canal radio et à relais radio 2—12
capacité concentrée 1—396
capacité de barrière 1—392
capacité de diffusion 1—393
capacité d'entrée 1—393
capacité de mémoire 1—394
capacité de passage 1—394
capacité de sortie 1—393
capacité des systèmes télémécaniques 1—395
capacité de transfert 1—394
capacité de transmission d'un canal 3—108
capacité distribuée 1—395
capacité localisée 1—396
capacité répartie 1—395
captation électrostatique des poussières (dépoussiérage électrostatique) 4—421
capteur 1—155, 156, 275
capteur à corde 1—288
capteur à flotteur de niveau 1—290
capteur à jauges de contrainte 4—25
capteur à mutuelle induction 1—289
capteur à résistance 1—283
capteur à sortie dépendant de fréquence 1—284
capteur capacitif 1—279
capteur de pression à compensation 1—278
capteur de pression à liquide 1—277
capteur de télévision 3—479
capteur électromécanique de dimensions 1—283
capteur impulsif à temps 1—277
capteur magnétique à induction 1—279
capteur magnétostrictif 1—280
capteur photo-électrique de déplacement 1—281
capteur piezo-électrique 1—281
capteur pneumatique de dimensions 1—282
capture de fréquence 1—419
caractérisation par la phase 4—229
caractéristique amplitude-fréquence 1—61
caractéristique (courbe) amplitude fréquence 4—315
caractéristique de commutation 3—259
caractéristique de l'installation réglée 2—409
caractéristique de réglage 2—363
caractéristique dynamique d'un générateur 1—329
caractéristique fréquentielle 4—315
caractéristique fréquentielle de généralisation 4—316
caractéristique fréquentielle réelle 4—316
caractéristique phase/fréquence 4—226
caractéristique phase/logarithme de fréquence, courbe de phase 4—226
caractéristique (réponse) en fréquence imaginaire 4—316
caractéristiques de vitesse des transistors 4—86
caractéristiques dynamiques des appareils de contrôle 1—331
caractéristiques dynamiques et constantes des tubes électroniques 1—329
caractéristiques fréquentielles de transistor 4—83
caractéristiques mécaniques de moteurs électriques 2—278
caractéristiques numériques des mesures 4—329
caractéristiques statiques d'un transistor 4—82
caractéristiques statiques et paramètres des tubes électroniques 3—432
caractéristique statique 3—431
caractéristique transitoire 2—491
caractéristique trapézoïdale 4—101
carbure de silicium 2—20
carte 1—107
carte perforée 2—496
cascade d'amplification 4—214
cathode froide à émission auto-entretenue 2—24
cathode photo-électronique 4—278
cathode suiveuse 2—26
cathode thermo-électronique 2—22
cavitation ultra-sonique 2—6
cellule à ferrites et à diodes 4—244
cellule à ferrites et à transistors 4—243
cellule de mémoire 4—446
cellule photo-électrique 1—115
cellule photo-électrique à gaz 1—284
cellule photo-électrique externe 4—279
cellule photo-émissive 4—279 1—115
cellules de fonctionnement 4—447
cellules normalisées 4—447
centre de calcul 1—192
chaîne automatique de rotation 3—280
chaîne correctrice 2—122
chaîne d'anticipation 2—422
chaîne de commutation 3—269
chaîne de décalage de phase (chaîne de déphasage) 4—232
chaîne de fabrication automatique 1—35
chaîne de production automatique 1—35
chaîne de sommation 3—447
chaîne de stabilisation 3—420
chaînes couplées 3—308
chaîne stabilisante 3—420
chaîne unidirectionnelle 2—411
chambre (cellule) pneumatique 2—7
chambre d'extinction d'arc 1—389
champs de composition 2—347
changement d'adresse d'instruction 2—476
charaktron 4—282
charge accordée 3—374
charge anodique 1—88
charge d'anode 1—88
charge des particules dans le champ électrique d'effluve 1—416
charge équivalente 4—350
chauffage basse fréquence par induction 1—466
chauffage de masse par induction 1—467
chauffage diélectrique 1—366
chauffage diélectrique dans les guides d'ondes et cavités résonnantes 1—368
chauffage diélectrique des matériaux thermoplastiques 1—369
chauffage par induction 1—463
chercheur pas à pas 1—507
chiffre de contrôle 2—107
chiffreur (dispositif de chiffrage) 4—340
choix du système de contrôle automatique 2—107
chromatographie automatique 4—324
chronorelais séquentiel 3—468
cinescope 2—40
circuit à charge anodique 1—89
circuit à coïncidence 1—119
circuit à double action 1—296
circuit bouclé 1—401
circuit d'anticoïncidence 1—92
circuit d'auto-oscillations 1—19
circuit de calcul 3—455
circuit de calcul de logarithmes 2—179
circuit de charge 2—347
circuit déclencheur 2—142
circuit décodeur 1—323
circuit de coïncidence 3—374
circuit de déclenchement 3—387
circuit d'enregistement 2—360
circuit d'enregistrement unilatéral 2—361
circuit de retard 1—401
circuit dérivateur 1—362
circuit différentiateur 1—362
circuit d'incandescence 2—360
circuit d'inhibition 1—414
circuit d'intégration 1—472
circuit électrique 2—109
circuit en pont 2—335
circuit équivalent 4—351
circuit fermé 1—401
circuit fonctionnel de machine 4—150
circuit imprimé 2—499
circuit intégrateur 1—472
circuit logique 2—204
circuit-non 1—452
circuit opérationnel logique de calculatrice numérique 2—195
circuit oscillant 2—61

circuit oscillatoire 2—60
circuit ouvert 3—145
circuit push-pull 3—121
circuit rigide 3—470
circuits équilibrés 1—101
circuit temporisateur (pour relais) 1—400
circulation 4—292
claquage d'avalanche 2—143
classe d'enseignement automatique 2—406
classe de précision 2—42
classes d'amplification 2—43
classification des appareils de mesure (instruments de mesure) 1—445
clé électronique pour calculateur analogique 2—44
clés de dispositifs de télécommande 2—45
coagulation ultra-sonore 4—121
codage 2—52
codage de télécommande 2—53
codage numérique des notions 4—328
code 2—48
code alphabétique d'entrée 1—167
code alphabétique de sortie 1—184
code complémentaire 2—49
code d'adresse 2—49
code d'adresses 1—49
code de commande automatique 2—49
code de détection et de correction d'erreur 2—50
code d'instructions 2—50
code droit 2—52
code inverse 2—51
codeur 2—58
codeur à disque 2—59
codeur à tube collimateur 2—57
codeur quantificateur 3—64
coefficient de couplage 3—310
coefficient de qualité 1—374
coefficient de qualité d'instrument (d'appareil de mesure) 1—374
coefficient de retour de relais 1—146
coefficient de ségrégation 3—312
coefficient de stabilisation 3—414
coefficient de vitesse 3—358
combinateur 2—95
commande à distance 1—357
commande à poursuite 3—363
commande à programme 3—104
commande automatique à distance 1—44
commande automatique de fréquence 1—39
commande automatique de fréquence des émetteurs 1—39
commande automatique de gain [CAG] 1—40
commande automatique de régimes des réseaux électriques 4—163
commande automatique des sous-marins 4—162
commande automatique des navires de surface 4—161
commande automatique des véhicules aériens 4—151
commande automatique d'une locomotive 4—157
commande automatique pneumatique à piston 2—520
commande avec accumulation d'information 4—165
commande de calculatrice analogique 1—87
commande de moteurs électriques par amplificateurs magnétiques 2—233
commande de restauration 2—64
commande des opérations 4—158
commande duale 1—385
commande en fréquence de moteurs 4—318
commande hydraulique 1—261
commande impulsionnelle 1—449
commande microprogrammée dans les calculateurs numériques 2—290
commande optimale 2—431
commande optimale de moteur électrique 2—434
commande par machine électrique d'un entraînement électromécanique 4—371
commande par «tout ou rien» 4—150
commande pneumatique vibratoire 2—519
communication optique 3—310
commutateur 2—67
commutateur à quatre couches 2—483
commutateur à rayons cathodiques 2—67
commutateur électronique 2—68; 4—397
commutateur horaire séquentiel 3—468
comparaison 3—401
compensateur automatique à courant alternatif 2—71
compensateur automatique à courant continu 2—72
compensateur électronique 2—73
compensation corrélative 2—73
compensation dynamique 1—325; 2—73
compensation statistique 2—74
compétition des éléments de commutation 3—273
compétition inadmissible 2—370
compétitions (concours) admissibles 1—379
complexe d'enseignement 2—407
composante constante 3—57
composante libre 3—308
composante utile 3—16
composition de mots 2—83
compoundage des machines électriques 2—70
compteur de la calculatrice numérique 4—307
compteur d'impulsions 3—456
compteur d'instructions 3—458
compteurs de cycles 4—290
compulsation d'informations 1—479
condensateur 2—84
condensateur de correction (trimmer) 4—103
condensateur ionique 1—501
condensateur variable avec la tension 1—115
condition de périodicité 2—493
conditions d'autonomie 1—44
conditions de stabilité 4—219
conditions de travail d'un dispositif de commutation 3—261
conditions d'un degré de stabilité infini 4—216
conditions initiales dans un calculateur analogique 2—369
conductibilité des trous 3—94
conductibilité du type 3—94
conductibilité électrique d'additions 3—92
conductibilité électronique 3—94
conductibilité propre 3—94
conductivité électrique 4—413
conductivité thermique de semi-conducteur 3—28
confirmation de signal de télécommande 2—32
connexion bipolaire 1—297
connexion de semi-conducteurs du type $A^{III}B^{V}$ 3—30
connexion multipôle de chaînes à relais 2—298
constante d'accélération 1—374
constante d'amortissement (d'affaiblissement) 4—215
constante de temps 3—57
constante de vitesse 1—374
constantes (paramètres de fonctionnement) des diodes 1—344
constantes de programme 2—88
constitution de l'appareillage électronique 4—385
construction des calculateurs numériques par micromodules 2—287
construction des processus transitoires 2—491
contact 2—88
contact de verrouillage 1—109
contact d'injection 2—91
contact entre deux semi-conducteurs 2—93
contact entre semi-conducteur et métal 2—92
contacteur 2—93
contacteur de verrouillage 1—109
contact ohmique 2—91
contact redresseur 2—91
contrôle actif 2—97
contrôle à distance 2—97; 4—5
contrôle au moyen de rayons gamma 1—209
contrôle automatique 2—95
contrôle automatique de dimensions 2—101
contrôle automatique de gain 1—40
contrôle automatique de phase 4—225
contrôle centralisé 2—104
contrôle de champs non stationnaires 2—383
contrôle de défaut (défectuosité) 1—319
contrôle de la composition du problème 2—98
contrôle des calculateurs électroniques numériques 2—103
contrôle des températures de chauffage par induction 1—462
contrôle du régime de chauffage par induction 1—462
contrôle industriel 2—95
contrôle local 2—98
contrôle multiple 2—98
contrôle multiple par commutation 2—98
contrôle par les ultra-sons 4—137
contrôle préventif 2—100
contrôle programmé 2—99
contrôle schématique 2—103
contrôle statistique 2—102
contrôleur d'ondes 1—154
convertisseur à magnétostriction 2—238; 3—69
convertisseur à soupape (électronique, ionique) 1—119
convertisseur à transistor 3—74
convertisseur à vibreur 1—128
convertisseur d'analogique en numérique ou de numérique en analogique 3—69
convertisseur de code 3—65
convertisseur de courant continu à semi-conducteurs 3—36
convertisseur de fonctions pneumatique 2—518
convertisseur de fréquence 3—80
convertisseur de fréquence à soupape électronique [ionique] 1—120
convertisseur d'entrée 1—167
convertisseur de télémesure 3—72
convertisseur de télémesure à réaction 3—74
convertisseur électrochimique 3—84
convertisseur électromécanique 3—82
convertisseur électronico-optique 4—393
convertisseur électropneumatique 3—83
convertisseur ionique 3—65
convertisseur magnétique 3—65
convertisseur piézo-électrique 3— 72, 123
convertisseur thermique 4—31
coordonnée généralisée 2—114
coordonnées d'entrée 2—114
correction de caractéristique 2—124
correction de courbe amplitude-fréquence 1—61
correction de distorsion 1—507
correction de forme d'impulsion 4—272
correction des propriétés dynamiques 2—124
correction dynamique (des appareils de contrôle automatique) 1—327
corrélateur 2—125
corrélation 2—127
couche appauvrie 2—392
couche d'arrêt 1—402
couche de barrage 1—402
couche d'inversion 1—451
couplage auto-inductif 1—45
couplage capacitif 1—392
couplage conductif 1—209
couplage direct électrique 1—209
couplage en cascade de machines asynchrones 2—21
couplage inductif 1—458
couplage par autotransformateur 1—45
couplage par capacité 1—392
couplage par résistances 3—278
couplage par rhéostat 3—278
couplage par transformateur 4—101
couple thermo-électrique (thermocouple) 4—30
courant de conduction inverse 2—398
courant de convection 2—83
courant de retour du collecteur 2—398
courbe amplitude-phase 1—60

courbe caractéristique de fréquence 4—315
courbe de réponse amplitude-fréquence 1—61
couronne inverse 2—116
course à vide 2—276
cristal 2—138
cristallisation ultra-sonique 4—122
critère de Hurwitz 1—274
critère de Mikhaïlov 2—296
critère de Nyquist 2—359
critère de stabilité de Routh 3—184
critères de commande optimale 2—425
critères de stabilité 4—217
croissance des monocristaux suivant Tchokhralsky 1—181
cube de ferrite 2—140
cumul d'opérations dans une machine 3—373
cuve électrolytique 4—369
cybernétique 2—34
cybernétique des systèmes d'énergie électrique 2—37
cybernétique technique 2—36
cycles de programmes 4—290
cylindre hydraulique 1—270
cymomètre 1—154

D

db 1—323
débitmètre à toupie (rotamètre) 3—175
débilmètre avec marques de flux 3—178
débitmètre calorifique (thermique) 3—180
débitmètre de pression de vitesse (cinétique) 3—179
débitmètre d'ionisation 3—176
débitmètre inductif 3—176
débitmètre massique 3—177
débitmètre ultra-sonore 3—181
décade 1—301
décharge auto-entretenue 3—298
décharge d'arc 1—388
décharge en arc 1—388
décharge gazeuse 3—147
décharge gazeuse disruptive 1—509
décharge lente (à lueurs) 4—55
décharge non autonome 2—382
décharge obscure (non luminescente) 4—17
décibel 1—323
déclenchement de l'élément de commutation 3—263
déclenchement périodique 3—437
décodage 1—302
décodeur 1—304, 323
décodeur d'opérations 2—416
décomposition de l'espace de phase en régions 3—141
décomposition en D 1—380
défaut d'électrons 1—391
défauts de réseau cristallin 1—322
défectoscopie gamma 1—209
dégazage par ultra-sons 1—299
degré d'amortissement 4—215
degré de liberté 3—436
degré de mobilité 3—6
degré de stabilité 4—218
degré d'irrégularité 2—381
dékatron 1—301
délai 1—399
démarreur à bouton-poussoir 2—45
démarreur magnétique 2—228
demi-additionneur 3—40
démodulateur 1—308, 311
démodulateur de fréquence 1—317
démodulateur de phase 1—316
démodulation 1—310
démultiplicateur de fréquence 1—305
dendrites 1—309
densimètre à flotteur 2—512
densimètre à radio-isotopes 2—513
densimètre hydrostatique 2—511
densité de dislocation 2—514
densitomètre 1—310
dépassement de réglage 2—489
dépendance continue 2—380
déphasage 3—312
déphaseur à plasma 4—228
déplacement 3—371
dérivation de signal 1—362
dérivé de zéro d'amplificateur opérationnel 1—380
désalignement 3—173
désionisation de gaz 1—300
détecteur 1—275, 311
détecteur de différence des phases 1—316
détecteur de rapport 1—314
détecteur par la cathode 1—314
détecteur par la grille 1—315
détecteur par la plaque 1—313
détecteur push-pull 1—314
détecteur synchrone 1—315
détecteur thermique en semi-conducteur 1—110
détecteur ultra-sonore 1—265
détection 1—310
détection des pailles par les rayons X 3—276
détection et correction d'erreurs de programme 2—461
déterminant de Hurwitz 1—274
détermination des domaines de stabilité 4—217
déviation de fréquence 1—299
diagramme amplitude-fréquence 1—61
diagramme amplitude-phase 1—60
diagramme circulaire 2—139
diagramme de conversion ponctuelle 4—58
diagramme des transferts 2—492
diagramme de tabulation 3—467
diagramme de temps 1—159
diagramme logarithmique amplitude-fréquence 1—61
diagramme synoptique de calculatrice 1—109
diagramme synoptique de programme 1—110
diaphonie 1—507
différentiateur 1—362, 363
différentiation de signal 1—362
diffusion des impurités dans les semi-conducteurs 1—365
diffusion des porteurs électrisés dans les semi-conducteurs 1—365
diffusion inverse 2—393
diffusion provoquée et incohérente de la lumière 3—172
diode 1—336
diode à capacité variable 1—339
diode à commande 1—343
diode à cristal de silicium 1—338
diode à effet tunnel 1—342
diode à semi-conducteur 1—340
diode au germanium 1—337
diode au silicium 1—338
diode paramétrique 1—339
diode pour hyperfréquences 1—340
diode semi-conductrice 1—340
diode semi-conductrice à capacité variable 1—115
diode tunnel 1—342
diode varactor 1—115
dipôle de commutation 3—266
discriminateur 1—345
discriminateur d'amplitude 1—345
discriminateur d'amplitude des impulsions 1—62
discriminateur de fréquence 1—317; 4—319
discriminateur de phase 1—316; 4—229
discriminateur de temps 1—161
disjoncteur 1—171
dislocation dans semi-conducteurs 1—345
dispatcher (contrôleur, répartiteur) automatique 1—9
dispatching 1—346
dispatching des grands réseaux électriques 1—347
dispersion cathodique 2—25
dispersion (dispersement) ultra-sonique 4—129
dispositif commandé de contrôle automatique 1—510
dispositif comparateur 3—402
dispositif compensateur 2—76
dispositif de commande 1—513; 4—186
dispositif de commande centralisée d'une calculatrice numérique 4—171
dispositif de commande locale 4—171
dispositif de commutation 2—448; 3—263
dispositif de commutation à séquences multiples 3—265
dispositif de commutation à séquence unique 3—265
dispositif de commutation asynchrone 2—264
dispositif de commutation autonome 3—264
dispositif de commutation synchrone 3—265
dispositif de lecture 4—331
dispositif d'équilibrage automatique 2—388
dispositif de réalignement 3—173
dispositif de recherche 3—15
dispositif de représentation 2—142
dispositif de rotation de phase (déphaseur) 4—227
dispositif imprimeur 2—493
dispositif intégrateur 1—472
dispositif multiplicateur 2—186
dispositif numérique à registre multiples 2—298
dispositifs de bruit 4—343
dispositifs d'élimination de bruit 3—46
dispositifs déphaseurs des redresseurs commandés 4—233
disque magnétique 2—224
distorsion d'amplitude 1—61
distorsion de phase 1—507
distorsion d'impulsion 1—505
distorsions de fréquence 1—506
distorsions linéaires 2—173
distorsions non linéaires 1—507; 2—379
distributeur 3—163
distributeur à faisceau électronique 3—170
distributeur d'air comprimé 3—165
distributeur de dispositifs de télémécanique 3—169
distributeur de télémécanique à commutation par contacts 3—167
distributeur de télémécanique sans contacts 3—166
distributeur électromécanique 3—170
distributeur hydraulique 3—165
distributeur pas-à-pas avec commande électromagnétique 3—170
diviseur de fréquence 1—305
diviseur de phase 4—232
diviseur de potentiel 1—305
diviseur de tension 1—305
domaine d'écarts admissibles 2—141
domaine de fonctionnement (de travail) 3—129
domaine de linéarité 1—429
domaine de stabilité 4—218
domaine paramétrique 2—469
donneur 1—379
doseur 1—375
doublage 1—388
D-régionnement 1—380
droite de charge 1—329
duodiode 1—338
durée d'auto-équilibrage 3—288
durée de lecture 3—460
durée de parcours de l'échelle 4—341
durée de réglage 3—202
durée de stabilisation (d'amortissement) 4—215
durée d'établissement 2—362
durée d'établissement des indications 1—165
durée de vie des porteurs de charge 1—162
durée d'impulsion 1—373
durée variable de cycle 2—485
dynamomètre 1—335

E

écart quadratique moyen 2—467
échantillonnage 1—345
échelle de réglage d'accord 4—340
échelle d'un appareil de mesure 4—340
échelle logique 2—204
éclateur (déchargeur) ionique 1—504
économie des cellules de mémoire 4—353
écran électroluminescent 4—370
écrêteur à diode 1—343
E-entropie 4—437
effacement de l'information 3—136
effet couronne 2—118
effet de bruit Schottky (bruits de grenaille) dans les semi-conducteurs 1—381
effet de grenaille 1—381

effet de Mössbauer 2—276
effet de peau 3—356
effet dynatron 1—336
effet électro-acoustique 4—362
effet électro-hydraulique 4—364
effet pelliculaire 3—356
effet photo-électrique 4—280
effet photo-électrique externe 1—141
effet photo-électrique interne 1—142
effet photo-émetteur 4—278
effet piézo-électrique 3—125
effets acoustiques non linéaires 2—379
effet superficiel 2—522
effet thermique dans les semi-conducteurs 4—28
efficacité de la transmission d'information en opérations à distance 4—440
efficacité économique de l'automatisation 4—352
éjecteur pneumatique 4—350
élaboration automatique des projets de machine 1—17
élaboration des algorithmes 1—59
électro-émaillage 4—364
électro-enrichissement 4—401
électrofilature 4—415
électro-impression 4—409
électronique 4—371
électronique industrielle 3—108
électronique moléculaire 2—328
électrons abondants 1—441
électrons libres 1—441
électropeinture 4—405
électrophotographie 4—429
électroséparation 4—416
élément à action P I 1—446
élément à débit 3—110
élément à jet 3—439
élément apériodique 1—93
élément correcteur 2—123
élément d'anticipation 2—422
élément de calcul non linéaire 2—380
élément de commutation 3—267
élément de commutation à contacts 3—266
élément de commutation à deux états (à deux positions) 3—266
élément de commutation à états multiples (à positions multiples) 3—266
élément de commutation avec fixation des actions 3—269
élément de commutation sans contacts 3—266
élément de relais 3—266
élément élastique 4—187
élément électrique de commutation 3—270
élément électroluminescent 4—370
élément impulsionnel 1—450
élément inertial 1—468
élément intermédiaire de dispositif à relais 3—108
élément logique 2—205; 4—431
élément logique de calculateur analogique 2—208
élément magnétique de commutation et de mémoire 3—280
élément non linéaire 2—376
éléments cryogéniques 2—135
éléments des circuits exponentiels 4—355
élément sensible (détecteur, élément de mesure) 4—336
élément sensoriel 1—156
éléments (organes) du dispositif à relais 3—262
éléments photo-électriques de l'automatisme 4—277
éléments physiques de la technique de calcul 4—244
élément thermo-électrique semi-conducteur 4—39
élimination d'auto-oscillations 3—5
émetteur d'ultra-sonore focalisant 4—268
émetteur électrodynamique 4—366
émetteur mécanique d'ultra-sons 2—278
émission de champ 1—45
émission d'électrons sécondaires 1—165
émission électronique (émission d'électrons) 4—379
émission électronique par champ électrique 1—45
émission photo-électronique 1—141
émission secondaire 1—165
émission thermo-ionique 4—29, 37
emploi de laineuses électriques 4—362
émulsification ultra-sonique 4—132
enclenchement automatique de reserve 1—41
encre magnétique 2—222
enregistrement automatique 3—191
enregistrement des indications de télémesure 3—196
enregistrement magnétique de signaux électriques 2—214
enregistreur de coordonnées 2—114
enregistreur de vibrations 1—127
enregistreur-récepteur 2—482
enrobage de matériel électronique 1—400
ensemble de segments de droite 2—142
ensemble des messages 1—89
entraînement électromécanique automatisé 4—413
entrée 1—167
entrée principale 2—457
entrée secondaire 1—167
entropie 4—435
enveloppe de signal 2—409
équation d'erreur 2—465
équilibrage séparé de circuits en pont (à courant alternatif) 2—337
équilibre dynamique 1—334
équipement de sortie des calculatrices digitales 1—170
équipement en vue d'opérations à distance 4—5
équivalence d'algorithmes 3—130
équivalence de circuits logiques 3—130
équivalent à séquence unique 4—350
ergonomie 4—438
érosion de cavitation 2—6
erreur 1—328; 2—523
erreur complémentaire 1—379
erreur de mesure 2—523
erreur de réglage 3—204
erreur de solution 3—5
erreur de télémesure 3—5, 481
erreur de tronquage 2—523
erreur dynamique 1—328
erreur en régime établi (régime permanent) 4—216
erreur quadratique moyenne 2—465
erreurs de calculatrice analogique 1—79
erreur statique 3—431
espace de phase 4—226
espace de signaux 3—322
espace d'états 3—109
espacement d'impulsions 3—356
espace paramétrique 3—109
essai 1—146
essai d'échelon unitaire 1—392
essai d'impulsion 1—449
essai d'impulsion unitaire 1—392
essai harmonique 1—212
essai par charge 1—146
essai programmé 1—516
essais 4—39
essais (épreuves) des dispositifs électroniques 1—515
essais (épreuves) des systèmes télémécaniques 1—514
estimation de qualité 2—26
établissement du projet de structure de calculatrice numérique 3—105
étage d'inversion 1—451
étage final 2—412
étage intermédiaire 1—111
étage pilote 1—215
étage séparateur 1—111
étalon 4—438
étalonnage 1—271
étalonnage d'appareils de mesure 2—7
étalons de fréquence atomiques 1—99
étanchéité des appareils électroniques 1—258
état d'équilibre 3—129
état de travail d'une chaîne de commutation 3—129
état indifférent 1—102
état interdit 1—415
état intérieur instable (d'un système de relais) 2—384
état inutilisé 2—370
état perturbé 1—149
étendue de linéarisation 2—163
étendue de protection contre le bruit 3—45
étendue de réglage 3—202
étendue de variation de la grandeur réglée 3—206
étouffement d'étincelles 1—509
étrangleur du type mixte 1—384
étrangleur en paquet de rondelles 1—382
étrangleur hydraulique 1—382
étrangleur laminaire 1—383
étrangleur pneumatique 1—383
étrangleur turbulent 1—384
études des champs ultra-sonores 1—520
évaluations statistiques 3—425
événement 3—372
exactitude de transmission de l'information 2—478
excitation de groupe convertisseur par redresseur à thyratron 1—499
excitation des oscillations 1—143
excursion de fréquence 1—299
exitron 4—355
exploration 3—355
exploration de valeur 2—423
extraction des porteurs de charges 4—355
extrapolation 4—356
extrémité de bande de fréquences 1—272

F

facteur de bruit 4—345
facteur de distorsion 2—43
facteur de puissance d'une commande électrique 2—132
facteur de puissance d'une commande ionique 2—131
Fédération Internationale d'automatique 1—524
feeder 4—244
fiabilité 2—348
fiabilité d'appareillage électronique 2—357
fiabilité d'appareils à semi-conducteurs 2—354
fiabilité des machines 2—353
fiabilité de structure 2—356
fiabilité d'un système de télécommande 2—355
fiche de raccord pneumatique 2—519
filtration 4—262
filtre à magnétostriction 4—250
filtre à moyenne fréquence 4—253
filtre à quartz 4—249
filtre à ultra-haute fréquence 4—254
filtre coupe-bande 4—248
filtre de bande 3—17
filtre de blocage 4—248
filtre de mode 4—257
filtre de Scott 4—257
filtre de séparation 4—253
filtre électrique 4—258, 422
filtre électromécanique 4—261
filtre épurateur 4—256
filtre optimal 4—251
filtre passe-bande 4—253
filtre passe-bas 4—250
filtre passe-haut (à haute fréquence) 4—247
filtre RC (à résistances et capacités) 4—254
fixation tabulaire des fonctions 3—464
flanc d'impulsion 1—448
fluctuation 4—266
Δ-fonction 1—307
fonction à fraction rationnelle 1—381
fonction binaire 1—293
fonction continue à pièces 2—142
fonction de corrélation 2—125
fonction de corrélation mutuelle 2—126
fonction de dissipation 1—348
fonction delta 1—307
fonction de poids 1—126
fonction de pondération 1—126
fonction de récoursion 3—245
fonction de Sheffer 4—340
fonction de transfert 2—478
fonction de transmission 2—490
fonction de transmission impulsionnelle 1—448
fonction finalisée (fonction à but final) 4—286
fonction fractionnaire-rationnelle 1—381

fonction intégrale 1—469
fonction poids 1—448
fonction unitaire 1—392
fonction unité de Heaviside 1—392
force électromotrice thermo-électrique 4—34
formage d'instructions 2—63
formage (mise en forme) des impulsions 4—269
formateur de cadence 4—271
forme minimale générale 2—409
forme minimale particulière 4—314
forme naturelle de représentation des nombres 1—396
formule de structure d'une chaîne de commutation 3—444
fortran (langage-machine) 4—272
freinage dynamique de commande électrique 1—334
fréquence 4—314
fréquence de coupure 3—402
fréquence de courant pour chauffage par induction 1—462
fréquence de porteuse 2—384
fréquence de sous-porteuse 3—6
fréquence d'exploration des grandeurs 4—315
fréquence d'image 1—129
fréquence limite de bande 1—272
fréquencemètre 4—323
fréquence originelle 3—55
fréquence résonnante 3—238
frottement 4—102
frottement visqueux 1—194
fuite de grille 4—224
fumage et saurissage électriques 4—367
fusion zonale 1—430

G

gain 4—190
gain et atténuation logarithmiques 2—179
gain statique 1—374
gamme dynamique (nombre de niveaux) 1—332
générateur à accumulation de charges (Van de Graaf) 1—249
générateur à courant en dents de scie 1—240
générateur à étincelles pour chauffage par induction 1—226
générateur à excitation indépendante 1—243
générateur à excitation séparée 1—243
générateur à exploration de fréquence 1—227
générateur à fréquence moyenne au tube à gaz 1—226
générateur à onde sinusoïdale 1—245
générateur à résistance-capacité 1—238
générateur à semi-conducteurs 1—237
générateur à tension en dents de scie 1—239
générateur à thyratron 1—246
générateur à tube à ondes progressives 1—236
générateur à tube à propagation d'onde 1—236
générateur à tubes thermioniques pour chauffage par induction 1—231
générateur basse fréquence 1—215
générateur de balayage 1—241; 3—308
générateur de base de temps 1—241
générateur de bruit 1—248
générateur de fonctions 3—74
générateur de fonctions à diodes 3—75
générateur de fonctions à rayons cathodiques 3—78
générateur de fonctions à variables multiples 3—76
générateur de fonctions commandé 3—78
générateur de fréquence pour télécommande 1—247
générateur de marques d'étalonnage 1—236
générateur de repère 1—236
générateur de signal standard 1—246
générateur d'harmoniques 1—213
générateur d'impulsions 1—216
générateur d'impulsions à machine électrique 1—222
générateur d'impulsions à relaxation 1—219
générateur d'impulsions à ultrasons 4—134
générateur d'impulsions de courant fort 1—221
générateur d'impulsions des systèmes télémécaniques 1—217
générateur d'ondes à très haute fréquence 2—20
générateur d'oscillations de relaxation 1—242
générateur d'oscillations non sinusoïdales 1—239
générateur d'ultra-son à tubes électronique 4-138
générateur électronique-ionique d'impulsions 1—223
générateur électrostatique 1—249
générateur hydrodynamique des ultra-sons 1—264
générateur moléculaire 1—236; 2—329
générateur optique des quanta 2—31
générateur pour chauffage diélectrique (par pertes diélectriques) 1—213
générateur quantique 1—236
générateur tachymétrique 3—470
générateur thermo-électrique 4—35
générateur ultra-haute fréquence 1—245
générateur wobbulé 1—227
génération des porteurs électrisés (des porteurs de charges) 1—256
génératrice à fréquence moyenne 1—234
génératrice à haute fréquence 1—213
germanium 1—256
glissement de fréquence 1—299
graduation 1—271
grandeur aléatoire (stochastique) 3—366
grandeur contrôlée 2—94
grandeur d'entrée 1—167
grandeur d'entrée de commande 4—186
grandeur d'entrée-type 4—45
grandeur de référence 1—398
grandeur de réglage 3—206
grandeur de sortie 1—183
grandeur perturbatrice 1—148
grandeur réglée 3—206
graphecon (tube de mémoire à restitution commandée) 1—272
grille 3—173
groupe convertisseur 1—252
groupe de complexes 2—83
groupement de calculateurs 2—81
groupe Ward-Leonard 1—252
guide d'ondes 1—149
guide d'ondes ultra-soniques 1—152

H

harmonique supérieure dans les soupapes électroniques 1—182
heptode 1—256
hétérodyne 1—259
hexode 1—213
hodographe 1—270
homéomorphisme 1—274
homéostat 1—270
hydrophone 1—270
hygromètre à cheveux pilaire 1—259

I

iconoscope 1—448
identification des caractères d'imprimerie 3—159
identification des formes 3—154
identification d'un texte manuscrit 3—160
identification [reconnaissance] de son et de parole 3—153
identité objective des mots 3—62
IFAC (Fédération Internationale de Commande Automatique) 2—274
ignitron 1—432
image 2—393
image-orthicon 3—448
impédance 3—381
impédance caractéristique 1—152
impédance d'onde 1—152; 3—379
implicant prime de fonction 1—448
index 2—247
indicateur à méthode de zéro sensible à la phase 4—235
indicateur de zéro 1—457
indicateur visuel d'accord cathodique 1—457
indice de surcharge 2—489
indice d'oscillation 2—60
indices de qualité 2—26
individualisation d'un sous-programme normalisé 2—87
inductance concentrée 1—458
inductance distribuée 1—458
inducteur de chauffage 1—458
information 1—492
injection dans couche de barrage 1—468
injection des porteurs minoritaires de charge 1—468
insensibilité 2—385
insolubilité algorithmique 1—59
instabilité 2—385
instabilité des paramètres d'appareils à semi-conducteurs 3—38
installation réglée neutre 2—374
Institut d'automatique et télémécanique 1—469
institutions de recherche scientifique 2—364
instruction 2—63
instruction de télécommande 2—65
intégrateur 1—472
intégrateur hydraulique 1—265
intégrateur pneumatique 1—470
intégration 1—472
intensité d'ultra-son 1—475
interrupteur 1—171
interrupteur limite 1—171
interruption du fonctionnement normal 3—301
intervalle de réglage 3—203
intervalles de temps en calculatrice analogique 1—79
introduction des coefficients variables 1—118
introduction des données à distance 1—360
introduction des données dans les calculatrices analogiques 1—117
introduction des données dans les calculatrices digitales 1—117
invariance 1—450
inverseur de phase 4—229
inverseur pneumatique 1—456
ionisation de gaz 1—497
ionisation par impact ou par choc dans semi-conducteurs 1—498
irrégularités de réseau cristallin 1—322
isomorphisme 1—446
itération 1—524

J, K

jauge d'ionisation alphatron 1—114
jauge (indicateur) de niveau à ondes 4—188
jonction 3—151
kénotron 2—32
klystron 2—43
kobol 2—46

L

labyrinthe de Shannon 4—337
lacune électronique 1—391
lacunes électroniques superflues (redondantes) 1—441
lampe à auto-émission 2—154
lampe d'amplification 2—155
lampe de réception à amplification 2—151
lampe électronique démontable 2—152
lampe multiple 2—158
lampe naine 2—148
lampe oscillatrice 1—254
langage algorithmique 4—443
langage de traitement de l'information 4—444
langages de la programmation 1—445
langage universel de machine 2—269
langue de l'information 1—491
laser 2—144
laser en verre 3—435
lasers semi-conducteurs 3—31
lecture 3—458
lecture non destructive 3—459
liaison parasite 2—467
liaison synchrone 3—350
ligne à deux conducteurs 1—297
ligne à retard 2—176
ligne artificielle 1—372
ligne bifilaire 1—297
ligne coaxiale 2—46
ligne court-circuitée 2—122
ligne de commutation 2—178
ligne fictive 1—372
ligne longue 1—371
ligne pneumatique longue 1—372
ligne principale d'adresses 2—210
ligne principale de signaux 2—210
ligne principale d'instructions 2—210
ligne principale numérique 2—210
ligne radio 3—136
lignes de liaison par câble et aériennes 2—173
limite de stabilité 4—216
limites du réglage proportionnel 3—205
limiteur d'amplitude 2—410
linéarisation 2—163
linéarisation des caractéristiques des capteurs 2—168
linéarisation forcée 2—164
linéarisation harmonique 2—163
linéarisation par balayage 2—163
linéarisation par la méthode des petites déflections 2—163
linéarisation statistique 2—164
linguistique mathématique 2—160
logique 2—180
logique de plusieurs chiffres 2—190
logique des seuils 2—192
logique majoritaire 2—184
logique mathématique 2—184
logique modale 2—192
loi de réglage 3—202
longueur de Debay 1—298
longueur de diffusion 1—364
longueur d'onde 1—371
luminescence ultra-sonique 2—209

M

machine à adresses définies 2—411
machine à adresses multiples 2—298
machine à apprentissage 2—398
machine à calculer 1—185, 189
machine à déchiffrer 3—184
machine à identifier 4—112
machine à instructions 2—65
machine analogique à calculer 1—70
machine à probabilité conditionnelle 4—215
machine à trier 3—383
machine à trois adresses 4—103
machine automatique 1—10
machine d'action parallèle 2—467
machine d'action parallèle-série 2—468
machine d'action série 3—56
machine de commande 4—178
machine de contrôle multiple par commutation 2—390
machine déterminée 1—319
machine de Turing 4—109
machine électronique de commande 4—379
machine électronique numérique 4—379
machine enseignante 2—401
machine logique 2—193
machine numérique de commande 4—179
machine numérique spécialisée 3—395
machine numérique universelle 4—144
machine probabilistique 1—122
machine universelle pour contrôle 2—105
magnétomètre 2—235
magnétostriction 2—239
magnétron 2—211
magnistor 2—213
maître-oscillateur 1—215
manchon 2—340
manomètre 2—244
manomètre à spire Bourdon 2—247
manomètre différentiel à éléments élastiques 2—246
manomètre différentiel à tore pendulaire 2—247
manomètre différentiel du type à cloche 2—246
mantisse d'un nombre 2—247
marge de phase 1—440
marge de phase (marge de stabilité en déphasage) 4—217
marge de stabilité 4—216
marge de stabilité en amplitude 4—217
maser 2—240
masse effective 2—248
matériaux à magnétostriction 2—237
matériaux piézo-électriques 3—121
mathématique des calculs 1—184
matrice à ferrites 4—238
matrice de commutation 2—484
matrices de structure 3—444
mécanisme de transmission hydraulique 1—261
mélangeur (de signaux) 3—371
membrane 2—275
membre minimal 2—294
memistor 2—275
mémoire 1—407
mémoire à ferrites 4—240
mémoire de travail 1—413
mémoire extérieure 1—411
mémoire intermédiaire 1—411
mémoire matricielle 3—472
mémoire permanente 1—412
mémoire tampon 1—411
mesure à distance 3—479
mesure automatique 1—442
mesure d'absorption d'ultra-son 1—442
mesure de débit 3—173
mesure de densité 2—513
mesure de la concentration des liquides 2—111
mesure de la concentration d'ions d'hydrogène 2—110
mesure de l'humidité des gaz 1—137
mesure de l'humidité des liquides 1—139
mesure des constantes des diodes 1—343
mesure des paramètres de semi-conducteur 3—25
mesure des pertes diélectriques 1—371
mesure de température 4—18
mesure de viscosité 1—132
mesure de vitesse d'ultra-son 1—443
mesure du degré d'humidité des corps solides 1—140
mesures d'épaisseur de revêtement 4—56
mesures indirectes 2—130
mesures magnétiques 2—220
mesures par pont 2—336
méthode balistique 1—102
méthode d'amélioration successive du plan 3—57
méthode d'approximation 1—94
méthode de balance harmonique 1—211
méthode de compilateurs 2—77
méthode de configuration des racines 3—162
méthode de Liapunov 2—209
méthode de mesure différentielle 1—361
méthode de Monte-Carlo 2—330
méthode de petit paramètre 2—243
méthode de première approximation 2—475
méthode de rentes différentielles 1—362
méthode des caractéristiques fréquentielles trapézoïdales (méthode des tangentes et des asymptotes des caractéristiques fréquentielles) 4—102
méthode des intervalles 3—92
méthode des nombres pseudo-aléatoires 3—112
méthode des potentiels 3—58
méthode des programmes programmants 3—103
méthode des sous-programmes 1—103
méthode d'évaluations intégrales 1—469
méthode de virgule flottante 1—416
méthode de zéro 2—73
méthode d'interprétation 1—476
méthode du bilan énergétique 4—434
méthode du lieu géométrique des racines 2—115
méthode du plan de phase 4—227
méthode fréquentielle 4—319
méthode hongroise 1—118
méthode opérationnelle de programmation 2—415
méthodes asymptotiques 1—97
méthodes de contrôle non destructif 2—109
méthodes de mesure des paramètres d'un transistor 4—76
méthodes de mesures au moyen de courants de Foucault 1—444
méthodes d'enregistrement magnétique 2—219
méthode simplex 3—323
méthodes non destructives pour le contrôle des matériaux par ultrasons 4—119
méthodes qualitatives 2—27
microcircuit 2—291
microcommande à courant alternatif 2—288
microcommande à courant continu 2—289
micro-élément 2—292
microminiaturisation 2—283
micromodule 2—286
microrupteur 2—282
microscope électronique 4—394
minimalisation 2—294
minimax 2—293
mise à la terre 1—399
mise en réserve 3—234
mnémoschéma 2—297
mobilité des porteurs de charge 3—6
modification d'instructions 2—62
modulateur 2—320
modulateur d'amplitude 2—320
modulateur de fréquence 2—323
modulateur de phase 2—323
modulateur d'impulsions 2—321
modulateur électro-optique de lumière 4—408
modulateur équilibré 2—320
modulateur magnétique 2—225
modulateur torique 2—322
modulation 2—324
modulation à deux cadences 2—327
modulation de fréquence 2—328
modulation de phase 2—328
modulation de télécommande 2—325
modulation d'impulsions 2—327
modulation d'impulsions à un seul cycle 2—327
modulation d'impulsions double 2—327
modulation d'impulsions en amplitude 2—327
modulation d'impulsions en durée 2—328
modulation d'impulsions en fréquence 2—328
modulation d'impulsions par leur espacement 2—328
modulation double 2—327
modulation en Δ 1—307
modulation en delta 1—307
modulation impulsive à code 2—327
modulation multiple 2—327
modulation par écart 2—328
modulation par vitesse 2—328
modulation temporelle 2—327
module 2—319
monocristal 2—329
montage à charge anodique 1—89
montage en pont 2—335
montage push-pull 1—297
montages sans contacts à éléments logiques pour la commutation de commandes électriques 1—102
montage symétrique 1—297
mot 3—364
mot de commande 4—186
moteur de commande 1—513
moteur hydraulique 1—264
moteur hydraulique rotatif 1—267
mot-machine 3—365
mouvement des particules dans le champ électrique de la couronne 1—291
mouvement établi 4—216
mouvement harmonique 1—212
mouvement non perturbé 2—369
mouvement périodique 2—493
mouvement perturbé 1—148
mouvement sinusoïdal 1—212
moyens techniques d'automatisation 4—40
multiplexage dans le temps 1—161
multiplicateur à canaux de calcul parallèles 2—300

multiplicateur à diode 1—343
multiplicateur à semi-conducteurs 4—142
multiplicateur de fréquence 4—143
multiplicateur-diviseur impulsionnel à variation de temps 1—165
multiplicateur électronique 4—397
multiplicateur photo-électronique 4—278
multiplication des porteurs dans la transition à collecteur 4—141
multipôle de commutation 3—267
multipôle universel 2—298
multivibreur 2—337

N

néper 2—380
néphélomètre 2—385
nettoyage ultra-sonique 4—122
neuristor 2—370
neutralisation 2—373
niveau de bruit 4—188
niveaux de codage d'information 4—189
niveaux de commande 4—170
niveaux d'énergie d'additions 3—92
niveaux locaux 2—208
nombre d'adresses 1—49
nombre noté avec une virgule flottante 2—386
nombre opérateur 2—412
non-linéarité 2—378
non-linéarité complémentaire 2—379
notation décimale 1—310
notation d'un nombre à virgule flottante 2—386
nouvistor 2—387

O

obtention de nombres aléatoire 3—367
octode 2—412
ondemètre 1—154
onde progressive 1—149
onde stationnaire 1—149
onduleur alimenté à partir d'un réseau 1—454
onduleur autonome 1—452
onduleur non autonome 1—454
opérateur arithmétique 1—95
opérateur de circuit logique 2—413
opérateur dépendant des paramètres 2—412
opérateur normalisé 2—414
opérateurs de programme 2—416
opération arithmétique 1—94
opération de groupe 1—273
opération de machine 2—421
opération logique 2—198
ophitron 2—465
optimaliseur 2—440
optimaliseur à extremum absolu 2—445
optimaliseur automatique 2—442
optique électronique 4—374
optique fibrilleuse 2—424
optron 2—451
ordinateur 1—185
ordinateur pour traitement d'information 1—486
ordinogramme 1—110
ordre d'exploration des grandeurs 3—56
ordre d'un nombre 3—56
organe commandé de dispositif à relais 1—514
organe comparateur 2—452
organe de commande 2—452
organe d'entrée 1—167
organe de réglage hydraulique 1—259
organe de restitution de composante continue 1—158
organe de retard 1—401
organe de sortie 1—183
organe électrique de réglage 1—512
organe moteur 1—513
organigramme des calculs 1—110
organisation de gestion industrielle 2—453
organisation de programme 2—452
organisation générale d'une calculatrice 1—109
orientation de cristal 2—456
orthicon 2—457
oscillateur à auto-excitation 1—9, 243
oscillateur à blocage 1—107
oscillateur à blocage, utilise comme circuit de déclenchement 1—396
oscillateur à magnétostriction 1—234
oscillateur à quartz piézo-électrique 1—229
oscillateur à réaction retardée 1—242
oscillateur à très haute fréquence du type magnétron 2—509
oscillateur à tubes électroniques 1—249
oscillateur bloqué 1—107
oscillateur d'harmoniques 1—213
oscillateur dynatron 1—213
oscillateur électronique 1—249
oscillateur klystron 1—230
oscillateur libre 1—9
oscillateur local 1—259
oscillateur magnétron 1—233
oscillateur piloté 1—215
oscillateur piloté par quartz 1—229
oscillateur résistance-capacité 1—238
oscillateur surcouplé 1—107
oscillateur transitron 1—247
oscillations amorties 1—418
oscillations auto-entretenus 1—9
oscillations de relaxation 3—247
oscillations électromagnétiques cohérentes 2—47
oscillations entretenues 2—370
oscillations forcées 1—172
oscillations harmoniques 1—210
oscillations propres 3—372
oscillations sinusoïdales 1—210
oscillographe 2—457
oscillographe à faisceau électronique 4—393
oxyde de cuivre 1—399

P

pandémonium 2—467
panneau de commande 1—272
paramètre de système 2—469
paramètre localisé 2—469
paramètre réparti 2—469
paramètres de transistor 4—77
paramétron 2—473
payement 2—509
pellicule magnétique mince 2—218
pellicules semi-conductrices 2—510
pentagrille 1—256
pente de la caractéristique d'un convertisseur de fréquence 2—140
penthode 2—474
perceptron 2—493
perforatrice 2—494
période de fonctionnement d'un dispositif à relais 3—470
période de pompage 3—286
Pert 2—493
perte de recherche 3—60
perturbance de diaphonie 1—507
perturbation 1—148
perturbation aléatoire (stochastique) 3—367
perturbation par échelons (saut) 3—356
perturbation sinusoïdale 3—346
pesage automatique 1—126
phantastron (générateur de tensions en dents de scie) 4—236
phasemètre 4—230
photocellule à semi-conducteurs 4—278
photoconduction 1—142
photodiode 4—272
photo-électricité 4—275
photo-émission 4—278
photolithographie 4—273
photomélangeur 4—273
photorésistances 4—274
phototransistor 4—275
pick-up 1—155
pièges de semi-conducteurs 2—179
pile solaire 3—377
plan de phase 4—225
plan de phase en feuilles multiples 4—225
plan d'extension 4—225
plaque en ferrite à trous multiples 4—239
point de contrôle 1—398
point de réglage 1—398
points de sensibilité 4—332
polarisation (déplacement) automatique 3—371
polarographe 3—41
polyvalence de la caractéristique de relais 2—380
pompe 2—363
pont à résonance 2—334
pont automatique à courant alternatif 2—332
pont de pourcentage de déviation 2—334
pont non linéaire 2—332
pont quasi équilibré 2—331
pont semi-équilibré 2—334
porte 1—119
porte-aimant 2—227
porte-non 1—452
porteur d'information 2—366
porteurs de charge auxilliaires 2—
porteurs de charge principaux 2—
portrait généralisé 2—393
possibilité de commande 4—176
poste de dispatching 3—120
potentioscope 3—58
potentiomètre 3—59
pouvoir de résolution 3—146
pouvoir résolvant 3—146
précision 4—58
précision d'une colenbotrice numérique 4—65
précision dynamique 4—64
précision statique 4—64
prédicat 3—60
prédiction 3—62
préparation de l'air pour les appareils pneumatiques 1—147
pression de radiation acoustique 1—275
pression hydraulique 1—275
pression sonore 1—428
principe de hiérarchie de commande (de gestion) 1—436
principe de normalisation 2—
principe de superposition 3—
principe du maximum 2—241
prise de terre 1—399
prix du jeu 4—289
probabilité 1—125
problème de disposition (répartition, arrangement) 3—144
problème de moments 3—93
problème de transport 4—88
procédé de fonte par zones 1—
processus aléatoire 1—122; 3—
processus de durée optimale 2—
processus monotone 2—330
processus non stationnaire 2—
processus oscillatoire 2—61
processus stationnaire 3—435
processus transitoire 2—491
programmation 3—97
programmation à nombres entiers 4—287
programmation automatique 1—
programmation convexe 1—179
programmation dynamique 1—333
programmation euristique 4—347
programmation linéaire 2—170
programmation mathématique 2—
programmation multiple 2—339
programmation non linéaire 2—
programmation paramétrique 2—
programmation par association 3—98
programmation quadratique 2—
programmation stochastique 3—
programme 3—94
programme d'analyse du mauvais fonctionnement 3—95
programme de commande 3—
programme d'introduction 3—
programme heuristique 3—97, 1—347
programme programmant 3—101
proportionnement 2—252
propriété oscillatoire 2—61
propriétés photo-électriques des semi-conducteurs 4—275
propriétés thermo-électriques des semi-conducteurs 4—34
protection des commandes électriques 1—427
protection des convertisseurs ioniques (à soupapes électroniques) 1—421
protection des lignes d'énergie à courant alternatif 1—423
protection des lignes d'énergie à courant continu 1—425

protection des réseaux urbains 1—422
protection en télécommande 1—419
psychromètre 3—116
puissance réactive dans les convertisseurs à valves 3—186
pulvérisation ultra-sonique des liquides 4—129
pupitre de commande 3—117
pupitre de commande de calculateur numérique 3—119
pupitre de dispatching 3—116
purification de gaz par son 1—204
purification électrique de gaz 1—205
pyromètre à deux couleurs 2—505
pyromètre à radiation totale 2—503
pyromètre bichrome ou bichromatique 2—505
pyromètre de brillance 2—501
pyromètre de couleur 2—505
pyromètre optique 2—501
pyromètre trichrome 2—505

Q

Q-mètre 2—141
quadrant hydraulique 2—27
quadripôle 4—325
qualification professionnelle dans la production automatisée 3—110
qualité mécanique 1—375
quantification 1—345; 2—30
quantité d'information 1—478
quasi-niveau de Fermi 4—237

R

radiateur ultra-sonore 1—441
radiation de recombinaison 3—244
radioélectronique 3—141
radiospectroscopie 3—137
radiotélécommande 3—140
radiotélémesure (télémesure par radio) 3—139
radiotélémétrie 3—140
ramification de programme 3—143
rapidité de réponse 1—111
rapidité des systèmes de télécommande 1—111
rapport de transformation 4—101
rapport signal/bruit 2—462
réaction 2—394
réalisation de structure du dispositif à relais 3—260
récepteur d'ultra-sons 3—91
réception de signal sur un fond de bruit 3—86
recherche automatique 3—9
recherche de documentation informationnelle 1—490
recherche des défauts aux rayons X 3—276
recherche documentaire 1—490
recherche itérative 3—11
recherche opérationelle 1—518
recherche par balayage 3—14
recherche statistique 3—15
recherche ultra-sonique de bancs de poissons 4—124
recombinaison des porteurs de charge 3—245
reconnaissance de voix 3—152
reconstitution de grandeur télémesurée 1—157
reconstitution de terme télémesuré 1—157
redondance 1—440
redresseur 1—172
redresseur à kénotron 2—33
redresseur à mercure 3—284
redresseur à semi-conducteurs 3—35
redresseur commandé 4—177
redresseur monophasé 1—173
redresseur sensible à la phase 1—177
redresseur triphasé 1—176
réducteur de tension 1—305
réenclenchement automatique 1—41
réfrigérateur thermo-électrique 4—35
refroidissement thermo-électrique 4—36
régénérateur de composante continue 1—158
régénération 3—189
régénération de mémoire 2—392
régime apériodique 1—93
régime continu 1—374
régime d'amortissement 4—215
régime d'autooscillations 1—10
régime de fonctionnement de générateur 1—251
régime d'impulsions 1—450
régime dynamique 1—332
régime établi 4—216
régime impulsionnel 1—450
régime impulsionnel du générateur 1—450
régime non établi 2—384
régime oscillatoire 2—62
régime périodique 2—492
régime pulsatoire 3—357
régimes fluctuants dans les appareils électroniques 4—263
régime stationnaire 3—435
régime transitoire de fonctionnement 2—133
régime transitoire répétitif 2—523
région d'isochrone 1—447
registre 3—189
registre d'accroissement d'adresse 3—190
registre de décalage 3—191
registre d'instructions 3—190
réglage à action dérivée 3—200
réglage à actions proportionnelle et intégrale 3—199
réglage à deux positions (paliers) 3—199
réglage à programme 3—200
réglage automatique 3—196
réglage automatique à distance 4—12
réglage automatique couplé et non couplé 3—198
réglage d'accord 2—363
réglage de la vitesse de rotation 3—200
réglage par dérivation 3—200
réglage par impulsions 3—199
réglage par «tout ou rien» 3—199
régulateur à action directe 3—223
régulateur à action discontinue 3—211
régulateur à action indirecte 3—221
régulateur à action intermittente 3—222
régulateur à action proportionnelle 3—223
régulateur à actions proportionnelle et intégrale 3—211
régulateur à charbon 3—229
régulateur à commutation 3—223
régulateur à deux paliers 3—210
régulateur à extremum 3—231
régulateur à grandeurs d'entrée multiples 3—224
régulateur à impulsions 3—212
régulateur à impulsions multiples 3—213
régulateur à paliers multiples 3—213
régulateur à programme 3—222
régulateur à réaction non proportionnelle (à contre-réaction élastique) 3—224
régulateur à régimes multiples 3—209
régulateur à réglage d'accord variable 3—225
régulateur astatique 3—207
régulateur automatique 3—206
régulateur automatique de niveau 1—46
régulateur avec statisme 3—227
régulateur de fréquence 3—230
régulateur de température 3—228
régulateur de tension 3—58
régulateur de tension avec déplacement magnétique 3—215
régulateur de tension (électrique) 3—214
régulateur électrique 3—231
régulateur électrohydraulique 3—231
régulateur électromagnétique de tension (électrique) 3—215
régulateur électromécanique 3—233
régulateur électronique de tension (électrique) 3—219
régulateur extrémal 3—231
régulateur hydraulique 3—209
régulateur hydraulique de vitesse 3—226
régulateur-limiteur 3—221
régulateur par «tout ou rien» 3—223
régulateur pneumatique 3—221
régulateur proportionnel 3—227
régulateur statique 3—227
régulateur vibrant 3—208
régulation de groupe de tension 1—273
relais 3—248
relais acoustique 3—248
relais à semi-conducteurs pour températures basses 2—137
relais basculant 2—40
relais de manipulation 3—251
relais de mesures 3—255
relais de protection 3—249
relais de temporisation 3—248
relais électrique à résonance 3—257
relais électromagnétique 3—258
relais magnétique 3—251
relais mécanique 3—251
relais optique 3—254
relais pneumatique avec buse-palette 3—254
relais temporisé 1—400
relais thermique 3—255
relaxateur 1—242
réluctance 3—380
répartition de la mémoire 3—162
repère de changement d'adresse 2—476
repère d'échelle 4—341
repères de temps 2—278
réponse 3—189
réponse à l'échelon-unité 3—189
réponse en fréquence 4—315
réponse forcée 1—172
réponse indicielle 3—189
réponses temporelles 1—162
report 1—417
représentation de l'information 1—482
représentation d'événements 3—63
représentation d'un nombre en code d'instructions 1—403
reproduction 1—156
reproduction de retard 1—156
reproduction (représentation) des signaux 1—156
réseau (circuit) intégrodifférentiel 1—474
réseau de nerfs 2—381
réseau intégrateur 1—472
réseau numérique du calculateur (de la machine) 3—147
résistance active 3—378
résistance à la radiation 3—379
résistance constante 3—381
résistance de l'isolation 3—379
résistance de prise de terre 3—379
résistance de rayonnement 3—379
résistance (impédance) d'entrée 3—379
résistance interne 3—379
résistance magnétique 3—380
résistance négative 3—380
résistance réactive 3—382
résistance thermique d'un appareil à semi-conducteurs 4—27
résistance thermosensible 4—32
résistance thermosensible semi-conductrice 4—32
résistance variable 3—380
résistivité de volume 3—382
resnatron 3—235
résonance 3—235
résonance parallèle 1—92
résonance paramétrique 3—238
résonateur à quartz 3—238
résonateur coaxial 3—240
résonateur volumétrique 3—241
ressource 3—278
restauration (réétablissement) des commandes en programmes 1—158
retard 1—163, 399, 401
retard de phase 2—465
retard d'impulsions 1—399
rupture de séquence 2—490
rupture de séquence conditionnelle 2—490
rupture Zener 1—428

S

sanatron 3—300
scellement des appareils électroniques 1—258
sceptron 3—356
schéma de montage 3—371
schéma équivalent des transistors 4—84
schéma fonctionnel 3—442
schéma logique 2—199, 203

schéma logique de programme 2—202
séchage 3—448
séchage à induction des revêtements vernis ou peints 3—452
séchage diélectrique des matériaux 3—453
séchage ultra-sonique 3—454
sélecteur d'amplitude 3—312
sélecteur de fréquence 1—437
sélecteur en temps 1—162
sélecteur et commutateur de circuit 2—114
sélecteur fréquentiel (de fréquence) 3—312
sélection 1—436
sélection de l'objet 1—169
sélection des signaux transmis à distance 3—312
sélectivité 1—439; 3—312
sélénium 3—313
self 1—385, 458
self de choc ultra-haute fréquence 1—384
selsyn 3—314
selsyn sans contacts 3—317
semi-conducteur 3—18
semi-conducteur à additions 3—22
semi-conducteus à grille ionique 3—22
semi-conducteur compensé 3-22
semi-conducteur dégénéré 3—20
semi-conducteur ferromagnétique 3—23
semi-conducteur propre 3—23
semi-conducteurs à quatre couches 4—326
semi-conducteurs organiques 3—29
sémiotique 3—317
sensibilité 4—333
sensibilité de convertisseur 3—85
sensibilité du récepteur 4—335
sensor 1—155
séparation des canaux 3—143
séparation de signal de bruit (brouillage) 1—171
séparation de sous-programme 3—7
séparation et condensation fréquentielles de canaux 4—316
séquence d'entrée 3—57
séquence de sortie 3—57
servo-commande pneumatique à piston 2—520
servo-moteur 1—511; 3—319
servo-moteur électrique 1—512
servo-moteur pneumatique à membrane 2—516
servo-moteur pneumatique à piston 2—516
sifflet ultra-sonique 4—141
signal 3—319
signal continu 2—380
signal d'écho 4—441
signal d'entrée 1—169
signal de rétroaction externe 1—270
signal d'erreur 2—465
signal de sortie 1—184
signal d'image 1—129
signal d'impulsion 1—450
signal discontinu 1—345
signal impulsionnel 1—450
signal incident 1—169
signalisation à distance (télésignalisation) 4—12
signalisation automatique 3—321
signal transmis é distance 3—321
signal type bruit 4—345
signal utile 3—16
signal vidéo 1—129
signe de longueur de cellule 3—92
silicium 2—133
simulateur à réseaux électriques 2—318
simulateur autorégleur 3—288
simulateur autorégleur de systèmes commandés linéaires 3—290
simulateur cybernétique 2—39
simulateur neuronique 2—371
simulateur numérique 2—318
simulateur pneumatique 2—317
simulateurs continus de systèmes de commande 2—94
simulation 2—301
simulation à programme en échelle de temps réel 2—307
simulation bionique 2—304
simulation de champs 2—306
simulation de non-linéarités typiques 2—314
simulation de processus industriels sur calculateurs numériques 2—308
simulation de reflexes conventionnelles 2—315
simulation de systèmes à appareillage réel 2—313
simulation de systèmes à impulsions 2—305
simulation de systèmes automatiques en présence de bruit 2—303
simulation du phénomène d'aimantation 2—312
simulation mathématique 2—306
sirène à ultra-sons 4—125
socle de tube électronique 4—313
solion 3—376
sommateur 3—445
sommation des indications en télémesure 3—445
sondeur acoustique 4—441
sortie 1—183
soudage (collage) à haute fréquence 3—356
soudure à faisceaux électronique 3—305
soudure à haute fréquence des couches thermiques 3—303
soudure par chauffage à haute fréquence 3—302
soudure par chauffage à induction 2—466
soudure ultra-sonique 3—305; 4—124
soufflage magnétique 1—390
soufflet 3—322
soupape 1—119
soupape à gaz 1—207
soupape ionique 1—207
source d'alimentation 1—522
source de messages 1—521
source d'énergie électrique 1—522
source de tension de référence (comparaison) 1—521
source d'information 1—521
source d'ultra-sons 1—522
sources lumineuses à décharge dans le gaz 1—206
sous-programme de contrôle 2—95
sous-programme de diagnostic 1—325
sous-programmes normalisés 3—8
spaysistor 3—388
spectre de fréquences 3—388; 4—322
spectre d'énergie 3—388
spectre harmonique de signal 1—211
spectromètre de masse 2—250
spectroscopie infrarouge 3—391
spectroscopie optique 3—393
spiratron 3—397
stabilisateur 3—402
stabilisateur à semi-conducteur 3—410
stabilisateur de courant 3—413
stabilisateur de flux magnétique 3—404
stabilisateur de fréquence 3—414
stabilisateur de l'effet couronne 3—404
stabilisateur de tension électronique 3—409
stabilisateur de tension et de courant avec bobines mobiles 3—405
stabilisateur électromagnétique à pile de charbon 3—414
stabilisateur électronique 3—414
stabilisateur ferromagnétique de tension 3—406
stabilisateur ferrorésonnant de tension 3—408
stabilisation 3—415
stabilisation à impulsions 3—415
stabilisation continue 3—416
stabilisation d'amplification (de gain) 3—417
stabilisation de fréquence 3—417
stabilisation de la surface de semiconducteur 3—27
stabilisation parallèle 3—416
stabilisation par quartz 2—32
stabilisation série 3—417
stabilité asymptotique 4—222
stabilité au bruit 3—48
stabilité au bruit de télécommande 3—54
stabilité au bruit de télémesure 3—51
stabilité de mouvement périodique 4—222
stabilité de mouvement perturbé 4—222
stabilité des paramètres d'appareils à semi-conducteurs 3—425
stabilité des systèmes asservis 4—220
stabilité du fait de la structure (stabilité de structure) 4—223
stabilité du zéro 3—425
stabilité entropique 4—435
stabilitron à effet couronne 3—421
stabilitron à silicium 3—421
statique du réglage 3—205
stratégie (dans la théorie des jeux) 3—437
stratégie mixte 3—371
stratégies optimales 2—437
structure de la calculatrice numérique de gestion 4—187
structure d'instruction 3—440
structure d'inversion 1—451
structure du dispositif de commutation 3—260
structure itérative 1—523
structure parallèle-série 2—468
structure plate 2—511
structure spatiale 3—109
structure symétrique 3—323
suiveur d'émetteur 4—433
superconductivité 3—307
superhétérodyne 3—447
supericonoscope 3—448
surface de réglage 3—204
surface des écarts 2—461
surtensions dans les installations de valves 2—488
symbolique des machines calculatrices 1—193
synchro 3—314
synchrodyne 1—315
synchronisation 3—346
synchronisation d'oscillations 3—347
synchronisation du fonctionnement de la machine 3—348
synchro (selsyn) 3—298
synthèse 3—325
synthèse automatique 3—326
synthèse des dispositifs de commutation 3—334
synthèse de systèmes optimaux 3—328
synthèse statistique de systèmes optimaux 3—337
synthétiseur d'harmoniques 1—211
système à auto-organisation 3—293
système acoustique à focalisant 4—268
système à données intermittentes 1—449
système à «échantillonnage» 1—449
système à minimum de phase 2—293
système astatique 1—99
système auto-adaptatif (à auto-adaptation) 3—293
système autorégleur 3—292
système binaire 1—292
système combiné de réglage 3—203
système complexe 2—79
système conservatif 2—87
système cybernétique 2—39
système d'amortissement variable 1—309
système de calcul 3—351
système de calcul nonaire cadifié en ternaire 4—106
système de calcul numérique 3—6
système de calcul sexadécimal (16-naire) 4—339
système de calcul ternaire 4—105
système décimal 1—310
système de commutation 3—259
système de contrôle automatique 2—108
système d'éléments d'une machine numérique 4—432
système de liaison synchrone 3—350
système de liaison synchrone électro-dynamique 3—351
système de liaison synchrone inductive 3—351
système de mémoire à échelons multiples 2—299
système de notation à base mixte 1—402
système de numération à base 9 1—299
système de numération à base deux 1—292
système de numération binaire codé 1—294
système de numération binaire-décimale 1—293
système de numération octal 1—159
système de poursuite 3—359
système de poursuite à plusieurs grandeurs d'entrée 3—362
système de poursuite avec limitations d'échauffement 3—362
système de poursuite combiné 3—361
système de programmes d'essais 1—518
système de radiotélécommande 3—140
système de réglage 3—205
système de réglage à plusieurs circuits 3—203
système de réglage à programme 3—104
système de réglage autonome 3—201
système de réglage invariant 3—202
système de réglage sans interactions (non couplé) 3—201
système des quanta 2—30
système de stabilisation 3—414
système de symboles des appareils électroniques 4—399
système de télécommande 4—9
système de télécommande avec séparation des éléments de signal dans le temps (avec séparation temporelle) 4—13
système de télécommande avec séparation fréquentielle des éléments de signal 4—16
système de télémesure 3—481
système de télémesure à canaux multiples 3—484
système de télémesure à compensation de courant 3—485
système de télémesure d'intensité 3—483
système de télémesure fréquentiel 3—485
système de télémesure par déplacement d'impulsions dans le temps 3—481
système de télémesure par impulsions codifiées 3—483
système d'excitation 1—143
système d'information 1—489
système d'instructions 2—62
système d'opérations à distance pour systèmes commandés dispersés 4—10
système d'optimalisation 2—446
système d'optimalisation à action continue 2—450
système d'optimalisation à action discontinue 2—449
système d'optimalisation automatique à auto-apprentissage 3—293
système d'optimalisation sur modèles 2—450
système dynamique 1—329
système extremal 4—357
système extremal à action continue 4—358
système extremal avec mémorisation de l'extremum 4—359
système extremal avec mesure de la dérivée 4—360
système extremal du type pas-à-pas 4—361
système «homme-automate» 3—352
système impulsionnel 1—449
système international des unités de mesure 2—274
système linéaire 2—169
système non linéaire 2—374
système opérant à distance par radio 3—140
système pseudo-linéaire 3—112
système sans erreur de position 1—99
systèmes (circuits) apériodiques 1—93
systèmes commandés concentrés 3—385
systèmes commandés dispersés 3—173
systèmes complexes 3—365
systèmes de poursuite à action rapide 3—360
systèmes optimaux 2—436
système statique 3—431
système télé-automatique 3—473
système universel d'éléments d'automation pneumatique industriel 4—223

T

tableau des enclenchements 3—461
tableau des états 3—463
tableau des transferts 3—462
tableau électroluminescent 4—369
tableau répartiteur 4—346
table de calcul 3—182
table des caractéristiques des objets 3—461
tabsol 3—466
tabulateur 3—468
tambour magnétique 2—222
technique de calculation 1—187
technique de centralisation 4—289
technique d'opérations à distance 4—5
technique d'opérations à distance par radio 3—140
technique infrarouge 1—493
technique utilisant des jets 3—438
technologie humaine 3—112
technologie ultra-sonique 4—126
technopsychologie 3—112
télécommande 1—357
télécommande automatique 1—44
télécommande (commande à distance) 4—12
télémécanique 4—5
télémesure 1—356; 3—479
télémesure dynamométrique 3—479
télémétrie 4—5
téléréglage 1—357
télésignalisation dans les usines 1—356
télétransmission d'ordres 4—5
télévision en circuit fermé 3—475
télévision industrielle 3—477
température à caractère de bruit (à caractère aléatoire) 4—343
température de souffle 4—343
temps d'accès 1—162, 163
temps de commutation 1—164
temps d'élan 2—492
temps de parcours des porteurs de charge 1—165
temps de réglage 3—202
temps de renversement 1—163
temps de retard 1—163
temps d'extraction d'information 1—162
temps d'inversion 1—163
temps (durée) de diffusion des porteurs de charge 1—162
tensiomètre 4—26
tension à caractère de bruit (à caractère aléatoire) 4—343
tension de bruit 4—343
tension de conduction inverse 2—397
tension de perçage 2—362
tension de référence 2—423
tension en dents de scie 2—501
terre 1—399
test programme 1—516
tête magnétique 2—213
tétrode 4—39
tétrode à faisceau électronique 2—208
tétrode semi-conductrice 4—40
théorème de Kotelnikov 2—130
théorèmes de Shannon 4—338
théorie de dualité 1—294
théorie de jeux 1—434
théorie de la commande automatique (Automatique) 4—166
théorie de la stabilité technique 4—219
théorie de prédiction 3—63
théorie des automates 1—43
théorie des circuits à relais 3—266
théorie des circuits de commutation à contacts 3—266
théorie des décisions statistiques 3—429
théorie des dispositifs de commutation 3—272
théorie des files d'attente 2—249
théorie des graphes 1—272
théorie des horaires 3—151
théorie de zones 1—431
théorie d'information 1—483
théorie du réglage automatique 3—201
thermomètre à (de la) résistance 4—29
thermopile 4—29
thermostat à semi-conducteurs 4—33
thesaurus 3—473
thyratron à décharge lente (à lueurs) 4—51
thyratron à décharge par arc (à arc) 4—46
thyratron électrométrique 4—52
thyratron impulsionnel 4—47
thyratron logique 4—49
thyristor 4—53
tiroir 1—429
tiroir de distribution 1—429
tortues de Walter (tortues cybernétiques) 4—148
totalisateur pneumatique 2—517
traduction automatique du programme 1—16
traduction d'un code dans un autre 2—477
traduction par machine (traduction automatique) 2—257
trainage de fréquence 1—418
traitement anodique-mécanique 1—88
traitement chimico-thermique avec chauffage à induction 4—283
traitement de l'information 1—479
traitement de l'information scientifique et technique 2—365
traitement électrique de la laine 4—404
traitement électrophysique et électrochimique des matériaux 4—422
traitement par contacts électriques 4—367
traitement par faisceau électrique 4—388
traitement par impulsions électriques 4—366
traitement thermique d'un semi-conducteur 4—30
transfert des données en cellules standard 1—171
transfert flottant 3—397
transfluxor 4—91
transformateur à basse fréquence 4—97
transformateur à enroulement unique 4—98
transformateur à haute fréquence 4—94
transformateur à impulsions 4—96
transformateur à très haute fréquence 4—99
transformateur d'adaptation (de liaison) 4—101
transformateur d'alimentation 4—98, 100
transformateur de crête 2—500
transformateur de mesure 4—96
transformateur d'entrée 4—92
transformateur de sortie 4—94
transformateur intermédiaire de cascade (de liaison) 4—97
transformateur pour échauffement par induction 4—94
transformateur redresseur 4—82
transformation intégrale 1—469
transformations équivalentes de circuits logiques 3—131
transformations équivalentes de la structure d'un dispositif de commutation 3—133
transistor 4—66
transistor à micro-alliage 4—73
transistor à pointe 4—75
transistor à surface de barrage 4—75
transistor au germanium 4—68
transistor au silicium 4—71
transistor de commutation 4—74
transistor de dérive 4—68
transistor-mesa 4—86
transistor unipolaire 4—76
transition à déformation élastique 4—188
transition électrons-trous 4—380
transition p-n 2—521
transmetteur 1—275
transmetteur de force électromotrice de Hall 1—291
transmetteur des nombres aléatoires 1—284
transmetteur de télémesure 1—289
transmetteur magnétique 2—210
transmission à distance 1—348
transmission à distance à modulation d'amplitude du signal 1—352
transmission à distance des signaux discrets 1—349
transmission à distance par échelons 1—349

transmission à distance par échelons à selsyn 1—351
transmission à distance par selsyn avec amplification de couple 1—355
transmission d'ordres à distance 4—5
transmission hydraulique 1—261
transmission sur une fréquence latérale unique 2—478
transmittance 2—478
travail de sortie 3—128
travail d'extraction 3—128
trempe superficielle par chauffage à induction 2—521
triage automatique 3—384
triode 4—104
triode à anode mobile 1—129
trochotron 4—107
tropicalisation de l'appareillage 4—106
trou 1—391
tube à faisceau électronique 4—391
tube à gaz 1—207, 501
tube à mémoire 1—404
tube à ondes électroniques 2—159
tube à rayons X 3—273
tube Bourdon 1—111
tube charaktron 1—429
tube de mémoire 1—404
tube électrométre 2—157
tube électronique à électrodes mobiles 2—280
tube électronique à impulsions à cathode froide 2—138
tube électronique à onde continue 2—145
tube électronique à onde inverse 2—150
tube électronique à pente variable 2—155
tube électronique indicateur numérique 2—157
tube électronique multiple 2—67
tube électronique réactif 3—185
tube électronique récepteur-amplificateur 3—92
tube indicateur à néon 2—149
tube oscillateur 1—254
tube oscillographique 2—459
tube phare 2—147
tube photo-électronique 1—115
tube récepteur de télévision 3—89
tube redresseur à gaz 1—207
tube régulateur fer-hydrogène 1—102
tube stabilisateur à décharge lente (à lueurs) 3—423
tube transmetteur de télévision 2—479
twistor 3—472
typotron 3—469

U

ultra-son 4—115
unité arithmétique 1—95
unité de commande 1—398
unité de sortie des calculatrices analogiques 1—169
unité de transformation pour liaison avec appareillage réel 3—85
unité d'information 1—477
unité pneumatique de retard 2—514
univibreur (monovibreur) 2—411
usinage par électro-érosion 4—430
usinage par étincelage électrique 4—366
usinage ultra-sonore 4—130
usine-automate 1—41, 397
usine automatique 1—41

V

vacuomètre 1—113
vacuomètre d'ionisation 1—113
vacuomètre magnétique à décharge électrique 1—114
vacuomètre radiométrique 1—114
valeur admissible 1—379
valeur consigne 1—398
valeur courante 3—473
valeur de seuil 3—55
valeur d'une division d'échelle 4—289
valeur initiale 2—368
valeur-limite 3—60
valeur optimale 2—431
valeur prescrite 1—398
valeur réelle 3—473
valve 1—119
valve à mercure 3—282
valve à semi-conducteur 3—33
vanne 2—40
vanne de commande 2—42
vanne de réglage 2—41
variable de commande 1—167, 398
variation des indications (lectures) d'appareil 1—115
variconde 1—115
variomètre 1—116
varistance 1—116
varistor 1—116
vent sonore 1—428
verrouillage 1—108
verrouillage de couronne 2—121
verrouillage de relais 1—108
vibreur 1—128
vibromètre 1—127
vibromètre ultra-sonique 4—135
vidéo-fréquence 1—129
vidicon 1—129
vieillissement 3—425
virgule fixe 1—416
virgule flottante 1—415
viscosimètre d'écoulement 1—130
viscosimètre rotatif 1—131
viscosimètre ultra-sonore 1—131
visualisation des champs soniques 1—129
vitesse de fonctionnement 1—111
vitesse de recombinaison superficielle 3—358
vitesse de transmission de l'information 1—483
vitesse d'exécution des opérations 3—358
vitesse d'onde ultra-sonore 4—132
vitesse d'oscillation 2—60
voltmètre à diodes 1—343
voltmètre à lampes 2—159
voltmètre de crête 2—500

W

wobbulation 1—143

Z

zéro de machine 2—257
zone d'ambiguité 1—429
zone de bande magnétique 1—429
zone de mémoire 1—430
zone de saturation 1—429
zone de travail 1—413
zone d'insensibilité 1—430
zone interdite 1—415
zone linéaire 1—429
zone occupée 1—404

НЕМЕЦКИЕ ТЕРМИНЫ

A

Abdämpfung 1—308
Abflußelement 3—110
Abfrageordnung der Größen 3—56
Abgabe des Quittungssignals in der Fernsteuertechnik 2—32
abgereicherte Schicht 2—392
Abgrenzung der Stabilitätsbereiche 4—217
Abklingen 1—417
abklingende Schwingungen 1—418
Ableiter 1—362
Ablenkgenerator 1—241
Ablenkmodulation 1—329
Ablesezeit 3—460
Abnahmeeinrichtung 2—463
Abschwächer 1—100
Abstimmskala 4—340
Abstimmung 2—363
Abstufungssteuerungsprinzip 1—436
Abtastfrequenz 4—315
Abtastsuche 3—14
Abtast-Theorem 2—130
Abtastung 3—142, 355
Abweichfläche 2—461
Abweichung 3—173
Abweichungseingriff 1—146
Abweichungsspeicherung 2—361
Addierer 3—445
Addierwerk 3—445
Adressé 1—48
Adressen-Code 2—49
Adresseninkrement-Register 3—190
Adressen-Magistrale 2—210
Adreß-Sprache 1—49
aktive Kontrolle 2—97
akustische Gasreinigung 1—204
akustischer Kanal 2—10
akustisches Relais 3—248
Akzeptor 1—51
Algebra der Logik 1—51
Algol 1—56
Algorithmenkonstruierung 1—59
Algorithmensprache 4—443
algorithmische Darstellung 1—59
algorithmische Unlösbarkeit 1—59
Algorithmus 1—57
allgemeine Minimalform 2—409
allgemeiner Frequenzgang 4—316
Allregimeregler 3—209
Alphabet 1—60
Alphatronmanometer 1—114
Älterung 3—425
Amplitude 1—60
Amplitudenbegrenzer 2—410
Amplitudendiskriminator 1—62, 345
Amplitudenfrequenzentzerrung 1—61
Amplitudenfrequenzkennlinie 1—61
Amplituden-Impulsdiskriminator 1—62
Amplituden-Modulator 2—320
Amplitudenphasenkennlinie 1—60
Amplitudenverzerrung 1—61, 507
Amplitudenwähler 3—312
Analog-Digital-Umwandlung 2—30
Analogiegerät-Rechenfehler 1—79
Analogierechenmaschine 1—70
Analogrechner 1—70
Analogrechneranwendungen 1—80
Analogrechnerfehler 1—79
Analogrechner mit Mehrfachausnutzung der Bausteine 1—76
Analogrechner mit periodischem Wiederholen 1—78
Analogrechnersteuerung 1—87
Analogrechner-Zeitintervalle 1—79
Analogrechner zum Rechnen im tatsächlichen Zeitmaßstab 1—75
Analyse der Systemstabilität 1—65
Analyse instationärer Vorgänge 1—63
Analyse von Relaissystemen 3—271
Änderungsbereich der Regelgröße 3—206
Anfangsbedingungen in der analogen Rechenmaschine 2—369
Anfangswert 2—368
angewandtes Fernsehen 3—475
Anlaufperiode 2—492
Annahme der realen Adressen 3—93
Anodenbelastung 1—88
Anodenfolger 1—89
Anodenfolgeschaltung 1—89
Anodengleichrichter 1—313
Anodenrichtverstärker 1—313
Anodenverstärker 1—89
Anpassungsanordnung 3—375
Anpassungstransformator 4—101
Anstiegszeit 2—362
Antenne 1—90
Antiferroelektrika 1—92
Antikoinzidenzschaltung-System 1—92
Antiresonanz 1—92
antreibende Achse 1—398
Anwendung der Fernwirktechnik 4—5
Anwendungen elektrostatischer Kräfte 4—380
Anwendungen elektrostatischer Kräfte in Landwirtschaft 4—382
Anwendung radioaktiver Isotope 3—134

Anzeigeröhre 1—457
aperiodische Arbeitsweise 1—93
aperiodischer Verstärker 4—192
aperiodisches Glied 1—93
aperiodische Systeme [Ketten] 1—93
Approximationsmethode 1—94
äquivalente Admittanz 1—48
äquivalente Belastung 4—350
äquivalente Schaltung 4—351
äquivalente Umwandlungen logischer Schaltungen 3—131
äquivalente Wandlung der Funktionen einer Relaisanlage 3—133
Äquivalenz logischer Schaltungen 3—130
Äquivalenz von Algorithmen 3—130
Arbeitsbedingungen einer Relaiseinrichtung 3—261
Arbeitsbereich 3—129
Arbeitsflüssigkeitsdruck 1—275
Arbeitsspeicher 1—413
Arbeitstakt der Relaisanordnung 3—470
arithmetische Mehrfachregister-Anordnung 2—298
arithmetische Operation 1—94
arithmetisches Mehrfachregister-Gerät 2—298
Arten der magnetischen Aufzeichnung 2—219
assoziative Programmierung 3—98
astatische Regeleinrichtung 3—207
astatisches Gerät [Apparat, Instrument] 1—99
astatisches System 1—99
astatisches Verhalten der n-Ordnung 1—98
asymptotische Methoden 1—97
asymptotische Stabilität 4—222
asynchrone Rechenanlage 1—98
asynchrone Relaiseinrichtung 3—264
Asynchronrechner 1—98
Atomfrequenznormalen 1—99
Attenuator 1—100
Ätzung 4—65
Aufgabenstellung 3—144
Aufgabesollwert 1—398
Aufgabewert 1—398
Auflösungsvermögen 3—146
Aufnahmegerät 1—167
Aufnahmeteil 1—167
9 aus 3-System 4—106
Ausfall 3—301
Ausflußviskosimeter 1—130
Ausgabe 1—183
Ausgabealphabet 1—184
Ausgabe der Unterprogramme 3—7
Ausgabegerät 1—183
Ausgabeteil 1—183
Ausgang 1—183
Ausgangsachse 1—183
Ausgangsalphabet 1—184
Ausgangsblock 1—183
Ausgangsfernmeßgerät 1—184
Ausgangs-Folge 3—57
Ausgangsfolgeachse 1—183
Ausgangsgröße 1—183
Ausgangskapazität 1—393
Ausgangssignal 1—184
Ausgangstransformator 4—94
Ausgangswelle 1—183
Ausgleich 3—287
Ausgleichzeit 3—288
Auslese in der Fernwirktechnik 1—169
Auslesezeit 1—162
Auslöseschaltung 2—142
Ausschalter 1—171
Ausscheidungskoeffizient 3—312
Ausschlagzeit (auf Geräteskala) 4—341
Außenspeicher 1—411
äußere lichtelektrische Erscheinung 1—141
äußerer Photoeffekt 1—141
Austrittsarbeit 3—128
Auswahl des automatischen Kontrollsystems 2—107
Auswahl-Schaltfeld 2—347
Auswahl von Signalen in der Fernwirktechnik 3—312
Autodyn-Verstärker 4—213
autoinduktive Kopplung 1—45
Automat 1—10
Automatentheorie 1—43
Automatik 1—32
Automatik-Kontrollsystem 2—108
Automation 1—32
automatische Analyse der Betriebszustände in Energieversorgungsbetrieben 1—13
automatische Anzeige 3—321
automatische Apparatur für Analyse der Stoffzusammensetzung 1—66
automatische Chromatographie 4—284
automatische Fabrik 1—41
automatische Fernlenkung 1—44
automatische Fernsteuerung 1—44
automatische Fließstraße 1—35
automatische Gasanalyse 1—63
automatische Kontrolle 2—95
automatische Loksteuerung 4—157
automatische Maß-Kontrolle 2—101
automatische Messung 1—442
automatische Machregelung von Funksendern 1—39
automatische Phaseneinstellung 4—225
automatischer Dispatcher 1—9
automatische Registrierung 3—191
automatische Reserveeinschaltung 1—41
automatischer Gleichstrom-Kompensator 2—72
automatischer pneumatischer Kolbenantrieb 2—520
automatischer Titrator 4—54
automatische Scharfabstimmung 1—39
automatisches Fließband 1—35
automatische Sortierung 3—384
automatische Steuerung für Betriebsenergiesysteme 4—163
automatische Steuerung für Flugapparate 4—151
automatische Steuerung für nichtstationäre Oberwasserobjekte 4—161
automatische Steuerung für nichtstationäre Unterwasserobjekte 4—162
automatisches Wiegen 1—126
automatische Synthese 3—326
automatische Verschiebung 3—371
automatische Verstärkungsregelung 1—40
automatische Wechselstrombrücke 2—332
automatische Wiedereinschaltung 1—41
automatisierter Elektroantrieb 4—413
automatisierte Rotationslinie 3—280
automatisiertes Programmieren 1—16
automatisierte Unterrichts-Klasse 2—406
Automatisierung der Datenverarbeitung 1—13
Automatisierung der Fabrikationsgänge 1—20
Automatisierung der Fertigungsvorgänge 1—20
Automatisierung der Maschinenprojektierung 1—17
Automatisierung der Produktionsabläufe 1—20
Automatisierung der Projektierung von elektronischen Rechnern 1—17
Automatisierung von Büro- und Rechenarbeiten 1—26
autonomes Regelsystem 3—201
autonome und nichtautonome (gebundene) selbsttätige Regelung 3—198
Autonomiebedingungen 1—44
Autotransformator 1—44
Avalance-Verhalten 2—143

B

Balanceschaltungen 1—101
ballistische Methode 1—102
Bandfilter 3—17; 4—253
Bandgenerator 1—249
Barretter 1—102
Bausteinsystem eines Digitalrechners 4—432
Bearbeitung mittels Elektroimpulsverfahren 4—366
Bearbeitung wissenschaftlich-technischer Information 2—365
Bedienungstafel (Bedienungsfeld) 1—272
Bedienungstheorie 2—249
bedingter Übergang 2—490
Bedingungen für Stabilität im Kleinen 4—216
Beeinflussung 1—146
Befehlregeneration in Programmen 1—158
Befehls-Code 2—50
Befehlsregister 3—190
Befehlsspeicher 1—407
Befehlsstruktur 3—440
Befehlwiederherstellung in Programmen 1—158
begrenzte Einwirkung 2—410
Belagsdickenmessung 4—56
Belastungseingriff 1—146
Belastungseinwirkung 1—146
Belastungskreis 2—347
Berechnung nach Church 4—325
Bereich der Linearität 1—429
Bereitstellungsmethode 3—92
berufliche Tauglichkeit in der automatisierten Produktion 3—110
Beruhigungszeit 4—215
Beschleunigungsmesser 1—50
Beschreibungsfunktionsmethode 1—211
besetztes Band 1—404
Bestimmung der Güteziffer 2—26
Betriebsfernmeldung 1—356
Betriebsfernsignalisierung 1—356
Betriebsflüssigkeitsdruck 1—275
Betriebszustand 3—129
Betriebszustandskontrolle der Induktionserwärmung 1—462
Beweglichkeitsgrad 3—6
Bewegung ohne Schwankungen 2—369
Bewertungsziffer 3—60
Bewirkung 1—146
Bezeichnungen und Symbole elektronischer Geräte 4—399
Bezugsnormal 4—438
Bezugsspannungsquelle 1—521
Bildaufnahmeröhre 2—479
Bilderkennung 3—154
Bildfeldzerlegung 3—355
Bildfrequenz 1—129
Bildfunkgeber 3—479
Bildröhre 3—89
Bildsignal 1—129
Bildspeicherröhre 1—448
Bildspeicherröhre mit Photowiderstandsschichten 1—129
Bildung von Einschwingvorgängen 2—491
Bildverstärker 1—129
Bildwiedergaberöhre 2—40; 3—89
Binär-Code-Darstellung 1—294
Binär-Dezimalsystem 1—293
binäre Funktion 1—293
binäres dekadisches System 1—293
binäres System 1—292
Binär-System 1—292
Bionik 1—105
bionikalische Modellierung 2—304
Blasspule 1—389
bleibende Regelabweichung 4—216
Blindleistung in Stromrichter 3—186
Blindwiderstand 3—382
Blockbild 1—109
Blockdiagramm 1—109
Blockingoszillator 1—107
Blockingunivibrator 1—396
Blockschaltbild 1—109
Blockschema 1—109
Bogenentladung 1—388
Boolesche Algebra 1—51
Bourdonröhre 1—111
Bourdonsche Röhre 1—111
Breitbandverstärker 4—208
Brückenmessungen 2—336
Brückenschaltung 2—335
Brückenstruktur 2—335

C

Charakteristik des Objekts 2—409
charakteristische Impedanz 3—379
Charaktron 4—282
chemisch-thermische Bearbeitung bei Induktionserwärmung 4—283
Code 2—48
Code-Impuls-Fernmeßsystem 3—483
Code (in der selbsttätigen Steuerung) 2—49
Coderelais 3—251
Code-Umsetzer 3—65
Codewandler 3—65
Code zur Ermittlung und Verbesserung von Fehlern 2—50
Codierer 4—340
Codierung 2—52

Codierung in der Fernwirktechnik 2—53
Codierungseinrichtung 2—58
Codierungsscheibe 2—59
Compoundierung elektrischer Maschinen 2—70

D

Dämpfer 1—308
Dämpfung 1—308, 417
Dämpfungscharakter 4—216
Dämpfungsfaktor 4—215
Dämpfungsglied 2—457
Dämpfungsgrad 4—215
Dämpfungsverhalten 4—215
Dämpfungszeit 4—215
Darstellung der Ereignisse 3—63
Darstellung der Erscheinungen 3—63
Datenausgabe (Abruf) aus Analogrechnern 1—169
Datenausgabe aus Ziffernrechenautomaten 1—170
Datendarstellung 1—482
Datenverarbeitung 1—479
Dauerbetrieb 1—374
Dauerspeicher 1—412
Debye-Länge 1—298
Dechiffrator der Operationen 2—416
Dechiffrieranlage 3—184
Decodierung 1—302
Decodierungsschlüssel 2—51
Defektelektron 1—391
Defektoskopie 1—319
Dehnungsmesser 4—26
D-Einfluß 1—146
Deionisation 1—300
Deionisierung 1—300
Dekade 1—301
Dekatron 1—301
Deltafunktion 1—307
Deltamodulation 1—307
Demodulation 1—310
Demodulator 1—308, 311
Dendriten 1—309
Denkfähigkeits-Verstärker 2—344
Densitometer 1—310
Dechiffriereinrichtung 1—304, 323
Dechiffrierung 1—302
Detektor 1—308, 311
determinierte Maschine 1—319
Dezibel 1—323
dezimale Schreibweise 1—310
Dezimalsystem 1—310
Diagramm nach (mit) gepunkteten Meßwerten 4—58
Dichtemessung 2—513
Dickenmessung mit Ultraschall 4—127
dielektrische Erwärmung 1—366
dielektrische Erwärmung in Hohlleitern und Hohlraumresonatoren 1—368
dielektrische Erwärmung von Thermoplasten 1—369
dielektrische Heizung 1—366
dielektrischer Verstärker 1—370
dielektrisches Trocknen von Werkstoffen 3—453
Dielektrizitätsverlustmessung 1—371
Differential-Glocken-Manometer 2—246
Differentialmanometer mit Feder-Elementen 2—246
Differentialmeßmethode 1—361
Differentialrentenmethode 1—362
Differential-Ring-Manometer 2—247
Differentialverstärker 4—193
differenzierendes Gerät 1—363
differenzierendes Glied 1—363
differenzierendes Netzwerk 1—362
Differenziergerät 1—362
Differenzierglied 1—362, 363
Diffusionskapazität 1—393
Diffusionslänge 1—364
Diffusionsrelais 3—255
Diffusionszeit der Ladungsträger 1—162
Digitaladdierer 4—308
Digital-Analog 4—306
Digitalanalysator 4—306
Digitaldifferentiator 4—306
digitale Daten von Meßwerten 4—329
Digitalmeßgeräte 4—309
Digitalrechenmaschine 4—293
Digitalrechenmaschineanwendung 4—310
Diode 1—336
Diodenbegrenzer 1—343
Diodendaten 1—344
Diodendatenmessung 1—343
Dioden-Funktionsumformer 3—75
Diodenkenngrößen 1—344
Diodenkennwert 1—344
Diodenmultiplizierer 1—343
Diodenvoltmeter 1—343
Diracsche Funktion 1—307
direkte Kopplung 1—209
direkter Code 2—52
diskontinuierliches Extremalsystem 4—361
Diskretisierungsfehler 2—523
diskretwirkendes Optimisierungssystem 2—449
Diskriminator 1—345
Dispatcherdienst 1—346
Dispatcherpult 3—116; 4—346
Dispatcherpunkt 3—120
Dispatcherzentrale 1—347
dissipative Funktion 1—348
Donator 1—379
Donor 1—379
Doppeldiode 1—338
Doppel-Impulsmodulation 2—327
Doppelleitung 1—297
Doppelmodulation 2—327
doppelpolige Relaiskreisverbindung 1—297
Doppelschaltung 1—296
Doppelzweipolröhre 1—338
Dosierer 1—375
Dosierpumpe 1—375
drahtloser Kanal und Kanal von Richtfunkstrecken 2—12
drahtloser und Zubringer-Kanal 2—12
Drehdrossel 1—116
Drehmelder 3—314
Drehmelder-Fernübertragung mit Momentverstärkung 1—355
Drehzahlregelung 3—200
Dreiadressenmaschine 4—103
Dreierrechensystem 4—105
Dreiphasengleichrichter 1—176
dreiphasiger Gleichrichter 1—176
Drossel 1—385
Drosseleinrichtung für Druckgefälleschaffung 1—382
Drosselscheibenpaket 1—382
Drosselspule 1—385
Drosselverstärker 4—196
Druckeinrichtung 2—498
Druckknopf-Anlasser 2—45
Druckknopf-Auslöser 2—45
Druckluftverteiler 3—165
Druckwasserantrieb 1—261
Druckwassersammler 1—259
Druckwasserspeicher 1—259
Dual-Code-Schreibweise 1—294
duale Steuerung 1—385
Dualitätstheorie 1—294
Dualsteuerung 1—385
Dualsystem 1—292
Dunkelentladung 4—17
dünne Magnetfolie 2—218
dünne Magnetplatte 2—218
Duodiode 1—338
Durchbruchspannung 2—362
durch Einflußgrößen verursachter Fehler 1—379
Durchflußmengenmessung 3—173
Durchflußmesser mit Strommerkzeichen 3—178
Durchgangskapazität 1—394
durchgehende Induktionserhitzung 1—467
Durchlaßband 3—17
Durchlaßbreite 3—17
durchlaufende Kontrolle 2—98
Durchwobbelung 1—143
Düsen-Prallplatte 3—378
DV-Verhalten 4—188
Dyadische Code-Setzung 1—294
Dynamikbereich 1—332
Dynamikentzerrung 1—327
dynamische Auslegung 1—332
dynamische Berechnung 1—332
dynamische Bremsung elektrischer Antriebe 1—334
dynamische Genauigkeit 4—64
dynamische Generatorkennlinie 1—329
dynamische Kennlinien von Kontroll- und Meßgeräten 1—331
dynamische Kompensation 1—325, 327
dynamische Kompensierung 2—73
dynamische Programmierung 1—333
dynamischer Ausgleich 1—325
dynamischer Betrieb 1—332
dynamischer Meßfehler 1—328
dynamische Röhrencharakteristiken und Röhrendaten 1—329
dynamisches Gleichgewicht 1—334
dynamisches System 1—329
Dynamometer 1—335
dynamometrische Fernmessungen 3—479
Dynatroneffekt 1—336
Dynatrongenerator 1—213
Dynatronoszillator 1—213
D-Zerlegung 1—380

E

ebene Struktur 2—511
Echolot 4—441
Echosignal 4—441
Edelgasgleichrichterröhre 1—207
Effekt 4—280
Eichgeber 1—246
Eichgenerator 1—246
Eichung des Meßgeräteparks 2—7
Eichung von Meßgeräten 2—7
eigene Leitfähigkeit 3—94
eigenerregter Oszillator 1—9
eigenerregter Schwingungserzeuger 1—9
Eigenleitfähigkeit 3—94
Eigenschwingungen 3—372
eigentlicher Halbleiter 3—23
Ein-Adressen-Maschine 2—411
Einfluß 1—146
Einführung variabler Koeffizienten 1—118
Eingabe 1—167
Eingabegerät 1—167
Eingabe-Schaltfeld 2—347
Eingabeteil 1—167
Eingang 1—167
Eingangsachse 1—398
Eingangsalphabet 1—167
Eingangsblock 1—167
Eingangsfolge 3—57
Eingangsgerät 1—167
Eingangsgröße 1—167
Eingangskapazität 1—393
Eingangskoordinate 2—114
Eingangssignal 1—169
Eingangstransformator 4—92
Eingangswandler 1—167
Eingangswiderstand 3—379
Eingriff 1—146
Einheitsfunktion 1—392
Einheitssprung 1—392
Einheitssystem der automatischen Regeleinrichtungen 1—46
Einkristall 2—329
Einkristallzüchtung nach Tschochralski-Methode 1—181
Ein-oder Mehr-Adreßbefehlsystem 1—49
Einphasengleichrichter 1—173
einphasiger Gleichrichter 1—173
Einrichtung zum Überschreiben 2—482
Einrichtung zur Suche der allgemeinen Lösung 2—115
Einschwingkennlinie 2—491
Einschwingvorgang 2—491
Einschwingvorgangsanalyse 1—63
Einseitenbandübertragung 2—478
einseitiger Speicher 2—361
einseitig richtender Kreis 2—411
einspeisender Kontakt 2—91
Einstellungskennwert 2—363
Einstellzeit der Instrumentenanzeigen 1—165
Einstufungssteuerungsprinzip 1—436
Eintakt-Modulation 2—327
Eintaktrelaiseinrichtung 3—265
Eintaktverstärker 4—200
Eintaktzyklus 4—350
Ein-und Aussteuerung 4—150
Einwegleitung 1—119
Einwicklungstransformator 1—44
Einwirkung 1—146
Einzelsteueranlage 4—171
Eisen-Urdox-Widerstand 1—102
Eisenwasserstoffwiderstand 1—102
elastisches Element 4—187
elektrische Anreicherung 4—401
elektrische Filterung 4—416

elektrische Gasreinigung 1—205
elektrische Leitfähigkeit 4—413
elektrische Regeleinrichtung 3—231
elektrischer Kreis 2—109
elektrischer Stellmotor 1—512
elektrisches Färben 4—405
elektrisches Filter 4—258
elektrisches Gitter-Modelliergerät 2—318
elektrische Speisequelle 1—522
elektrisches Räuchern 4—367
elektrisches Relaiselement 3—270
elektrisches Resonanzrelais 3—257
elektrisches Spinnen 4—415
elektrische Staubabsonderung 4—421
elektroakustischer Effekt 4—362
Elektroantriebsblockierung 1—108
Elektrodruck 4—409
elektrodynamischer Schallstrahler 4—366
elektrodynamisches System der Synchronverbindung 3—351
elektroerosive Bearbeitung 4—430
Elektrofilter 4—422
Elektrofotographie 4—429
Elektrofunkenbearbeitung 4—366
Elektroglasieren 4—364
elektrohydraulischer Effekt 4—364
elektrohydraulischer Regler 3—231
elektrokardieren 4—362
Elektrokontaktbearbeitung 4—367
elektrolumineszierender Schirm 4—370
elektrolumineszierendes Element 4—370
elektrolumineszierende Tafel 4—369
elektrolytische Wanne 4—369
elektromagnetischer Konstanthalter mit Kohlensäule 3—414
elektromagnetische Spannungsregeleinrichtung 3—215
elektromagnetisches Relais 3—258
elektromaschinelle Steuerung eines Elektroantriebs 4—371
elektromechanischer Regler 3—233
elektromechanischer Umformer 3—82
elektromechanischer Verstärker 4—211
elektromechanischer Verteiler 3—170
elektromechanischer Wandler 3—82
elektromechanisches Filter 4—261
Elektrometerröhre 2—157
elektrometrischer Verstärker 4—211
elektrometrisches Thyratron 4—52
Elektronenemission 4—379
Elektronen-Ionen-Impulsgenerator (Impulsgeber, Stoßgenerator) 1—223
Elektronenleitfähigkeit 3—94
Elektronenloch 1—391
Elektronenoptik 4—374
elektronenoptischer Wandler 4—393
Elektronenröhren-Verbundsystem 2—67
Elektronenstrahlbehandlung 4—388
Elektronenstrahl-Codierungsröhre 2—57
Elektronenstrahl-Funktionsumformer 3—78
Elektronenstrahl-Kommutator 2—67
Elektronenstrahloszillograf 4—393
Elektronenstrahlröhre 4—391
Elektronenstrahlröhre zum Schreiben von Zahlen und Buchstaben auf dem Schirm 1—429
Elektronenstrahlverteiler 3—170
elektronischer Digitalrechner 4—379
elektronische Rechenmaschine 4—374
elektronischer Kommutator 2—68
elektronischer Kompensator 2—73
elektronischer Schalter 4—397
elektronischer Schlüssel für eine Analogie-Rechenmaschine 2—44
elektronischer Spannungsstabilisator 3—409
elektronischer Stabilisator 3—414
elektronischer Vervielfacher 4—397
elektronisches Gerät 4—397
elektronische Spannungsregeleinrichtung 3—219
elektronische Steuerungsanlage 4—379
elektronische UHF-Geräte 4—394
elektrooptischer Lichtmodulator 4—408
elektro-pneumatischer Umformer 3—83
elektrostatischer Generator 1—249
Elektroverarbeitung der Wolle 4—404
Elemente einer Relaiseinrichtung 3—262
Emissionsphotozelle 1—204
Emitterfolger 4—433
Empfängerempfindlichkeit 4—335
Empfänger-Verstärkerröhre 3—92
Empfangsgleichrichter 1—311
Empfangs-Verstärker-Röhre 2—151; 3—92
Empfang von verrauschten Signalen 3—86
empfindliches Element 4—336
Empfindlichkeit 4—333
Empfindlichkeitspunkte 4—332
Empfindlichkeitsstellen 4—332
Endabschalter 1—171
Endausschalter 1—171
endlicher Automat 2—86
Endschalter 1—171
Endstufe 2—412
Energiepegel der Legierung 3—92
Energiespektrum 3—388
entarteter Halbleiter 3—20
Entcodung 1—302
Entionisierung 1—300
Entladungsgitter eines Rechnergeräts 3—147
E-Entropie 4—437
Entropie 4—435
Entropie-Stabilität 4—435
Entschlüsseler 1—304; 4—112
Entschlüsselung 1—302
Entwurf der Struktur elektronischen Ziffernrechner [Digitalrechner] 3—105
Entzerrung 1—507
Entzifferer 1—304, 323
Entzifferungsgerät 1—304, 323
Erdableiter 1—399
Erdanschluß 1—399
Erdung 1—399
Erdungswiderstand 3—379
Ereignis 3—372
Ergonomie 4—438
Erprobung (Prüfung) von Fernwirksystemen 1—514
Erregungssystem 1—143
Erschütterungsmesser 1—127
erzeugende Frequenz 3—55
erzwungene Komponente 1—172
erzwungene Linearisierung 2—164
erzwungener Anteil 1—172
erzwungene Schwingungen 1—172
Evristik Programm 4—347
Evristik Programmierung 4—347
Exitron 4—355
exponentielle Bauelemente für Brükkenschaltungen 4—355
Extrapolieren 4—356
Extremalsystem 4—357
Extremalsystem mit Speicherung des Extremwerts 4—359
Extremalsystem mit messung der Ableitung 4—360
Extremalwertregler 3—231

F

Fadengeber 1—288
faktographische Suche 1—490
Faltenbalg 3—322
Fangstelle in Halbleitern 2—179
Farb-oder Zweifarbenpyrometer 2—505
Fehler 1—328; 2—523
Fehlererkennung 1—319
Fehlererkennung mittels Gammadurchstrahlung 1—209
Fehler-Ermittlungs-und Verbesserungs-Code 2—50
Fehlergleichung 2—405
Fehlersignal 2—465
Fehlersuchunterprogramm 1—325
Fehlweisung durch Einflußgrößen 1—379
Feldelektronenemission 1—45
Feldemission 1—45
Felder-Modellierung 2—306
Fermi'sches Quasiniveau 4—237
fernautomatisches System 3—473
Fernbefehl 4—5
Fernbeobachtung (beim Einsatz von Fernsch-Anlagen in der Fernwirktechnik) 2—97
Ferneingabe 1—360
Fernkontrolle 4—5
Fernkontrolle (in der Fernwirktechnik) 2—97
Fernlenkung 1—357
Fernmeldung 4—12
Fernmeßfehler 3—5, 481
Fernmeßgeber 1—289
Fernmeßsystem 3—481
Fernmeßsystem mit eingeprägtem Strom 3—485
Fernmessung 1—356; 3—479; 4—5
Fernmeßwandler 3—72
Fernmeßwandler mit Rückkopplung 3—74
Fernregelung 1—357; 4—12
Fernschaufnahmeröhre (nach dem Superikonoskop-Prinzip) 3—448
Fernschaufnahmeröhre (nach dem Superorthykon-Prinzip) 3—448
Fernseh-Bildröhre 2—40
Fernsteuer-Kommando 2—65
Fernsteuerung 1—357; 4—12
Fernsteuerungskanal 2—19
Fernsteuerungssystems - und-Fernsignalisierungssystemsschnelle [Schnelligkeit, Geschwindigkeit] 1—111
Fernübertragung 1—348
Fernübertragung mit Amplitudenmodulation 1—352
Fernübertragung mit quantisiertem Signal 1—349
Fernübertragung mit vielfacher Umleitung 1—349
Fernübertragungssystem mit vielfacher Umleitung und Drehmelder 1—351
Fernwirksignal 3—321
Fernwirk-Störstabilität 3—54
Fernwirktechnik 4—5
Ferritdiodenzelle 4—238
Ferritmatrize 4—238
Ferritspeicher 4—240
Ferrit-Speicherblock 2—140
Ferrittransistorzelle 4—243
ferromagnetischer Halbleiter 3—23
ferromagnetischer Stabilisator der Spannung 3—406
Ferroresonanz-Spannungsstabilisator 3—408
feste Schaltung 3—470
Festkomma 1—416
Festkörper - Feuchtigkeitsgradmessung 1—140
Feuchtemessung von Flüssigkeiten 1—139
Fiberoptik 2—424
Filter zur Wellentype 4—257
Fischortung mittels Ultraschall 4—125
flache Struktur (planierte Struktur) 2—511
Fließreihe 1—35
Fluktuation 4—266
Fluktuationsgeräusche in elektronischen Geräten 1—381
Flüssigkeitsdruckgeber 1—277
Flüssigkeitspfeife 1—264
FM-Generator 1—247
fokussierende Ultraschallsender 4—268
Folgeantrieb 3—363
Folgesystem 3—359
Folgesystem mit Erwärmungsbegrenzung 3—362
Folgesystem mit mehreren Steuergrößen 3—362
Formierung des Kommandos 2—63
Fortran (Speichautomat) 4—272
fortschreitende Welle 1—149
Fotodiode 4—272
Fotoeffekt 4—280
fotoelektrische Bauteile 4—277
fotoelektrische Eigenschaften von Halbleitern 4—275
Fotoelement mit äußerem Fotoeffekt 4—279
Fotoemission 4—278
Fotoemissionszelle 4—279
Fotokatode 4—278
Fotolithographie 4—273
Fotomischer 4—273
Fotospannung 4—275
Fototransistor 4—275
Fotovervielfacher 4—278
Fotowiderstände 4—274
freie Komponente 3—308
Freiheitsgrad 3—436
Fremdespeicher 1—411

fremdgeführter Wechselrichter 1—454
Frequenzabweichung 1—299
Frequenzausflug 1—299
Frequenzband 3—17
Frequenzbereich 3—388
Frequenzdetektor 1—317
Frequenzdiskriminator 4—319
Frequenzfernmeßsystem 3—485
Frequenzgang 4—315
Frequenzgangmethode 4—319
Frequenzgleichrichter 1—317
Frequenz-Impulsmodulation 2—328
Frequenzkennwerte von Transistor 4—83
Frequenzmesser 4—323
Frequenzmodulation 2—328
Frequenzmodulationsgenerator 1—247
Frequenzmodulator 2—323
Frequenzmultiplex-Fernwirksystem 4—16
Frequenzregler 3—230
Frequenzspektrometer 1—67
Frequenzspektrum 3—388; 4—322
Frequenzspreizung und-bündelung in Kanälen 4—316
Frequenzstabilisator 3—414
Frequenzstabilisierung 3—417
Frequenzsteuerung von Motoren 4—318
Frequenzteiler 1—305
Frequenzumsetzer 1—120
Frequenzuntersetzer 1—305
Frequenzversatz 1—299
Frequenzvervielfacher 4—143
Frequenzverzerrung 1—506
Frequenzwähler 1—437; 3—312
Frequenzwandler 3—80
Führungsgröße 1—398; 4—186
Füllhöhe-Schwimmergeber 1—290
Füllstandsmeßgerät (nach dem Radar-prinzip) 4—188
Füllstandsregelung 4—170
Funkenentladung 1—509
Funkenlöschung 1—509
Funkenoszillator für dielektrische Erwärmung 1—226
Funkenschwingungserzeuger für Dielektrikheizung 1—226
Funkentladung 1—509
Funkfernmessung 3—139, 140
Funklinie 3—136
Funktionenaufgabe in Rechenmaschinen 1—397
Funktionsschaltung einer Maschine 4—280
Funktionsumformer 3—74
Funktionsumformer für mehrere Veränderliche 3—76

G

galvanische Kopplung 1—209; 2—86
ganzzahliges Programmieren 4—287
Gasanalyse 1—195
Gasanalysengerät nach dem Wärmeleitfähigkeitsprinzip 1—201
Gasentladungen 3—147
Gasentladungsgefäß 1—207
Gasentladungs-Lichtquellen 1—206
Gasentladungsmanometer 1—114
Gasentladungsröhre 1—207
Gasfeuchtemessung 1—137
gasgefüllte Gleichrichterröhre 2—32
gasgefüllte Photozelle 1—204
Gasgleichrichterröhre 1—207
Gasionisation 1—497
Gasionisierung 1—497
Gastriodenimpulsgenerator 1—246
Geber 1—275
Geberachse 1—398
Geber mit Frequenzausgang 1—284
gebrochene rationale Funktion 1—381
gedämpfte Schwingungen 1—418
gedruckte Schaltung 2—499
gegenseitige Modulationsverzerrung 1—507
Gegenstrombremsung elektrischer Antriebe 1—334
Gegentaktdemodulator 1—314
Gegentaktgleichrichter 1—314
Gegentaktmodulation 2—327
Gegentakt-Modulator 2—320
Gegentaktschaltung 1—297; 3—121
gekoppelte Stromkreise 3—308
gelochtes Band 2—497
Gemischtbasisschreibweise 1—402
Genauigkeit 4—58
Genauigkeit der Informationsübertragung 2—478
Genauigkeit eines Digitalrechners 4—65
Genauigkeitsklasse 2—42
Generatorarbeitskurve 1—329
Generatorarbeitsweisen 1—251
Generatorbetriebsverhalten 1—251
Generatordynamikverlauf 1—329
Generatorimpulsbetrieb 1—450
Generator mit Fremderregung 1—243
Generator mit Selbsterregung 1—243
Geräte, des Magnetrontypes 2—212
Geräteeichung 1—271
Gerätekalibrierung 1—271
Geräteskala 4—340
geräuschartiges Signal 4—345
Geräuscherzeuger 1—248
Geräuschpegel 4—188
Germanium 1—256
Germaniumdiode 1—337
Germaniumtransistor 4—68
Gesamtstrahlungspyrometer 2—503
geschlossener Kreis 1—401
Geschwindigkeit der Ultraschallwelle 4—132
Geschwindigkeitskoeffizient 3—358
Geschwindigkeitsmodulation 2—328
Geschwindigkeitsverhalten von Transistoren 4—86
Gesetz der Regelung 3—202
Gestalt 2—393
gesteuerter Funktionsumformer 3—78
gesteuerter Gleichrichter 4—177
gestörte Bewegung 1—148
gestörter Zustand 1—149
getrennter Abgleich von Brückenschaltungen (in Bezug auf Wechselstrom) 2—337
Gewichtsfunktion 1—126, 448
Gewinn an Ladungsträgern 4—355
Gewinnung von Zufallszahlen 3—367
Gießharzeinbettung elektronischer Apparatur 1—400
Gitterableitung 4—224
Gittergleichrichter 1—315
Glaslazer 3—435
Glättungsfilter 4—256
Gleichgewichtsschaltungen 1—101
Gleichgewichtszustand 3—129
gleichrichtender Kontakt 2—91
Gleichrichter 1—172
Gleichrichtermeßgerät 1—179
Gleichrichtertransformator 4—92
Gleichrichtung 1—310
Gleichstrom-Halbleiter-Umformer 3—36
Gleichstrom-Mikroantrieb 2—289
Gleichstromverstärker 4—201
Gleichstromwiederherstellungsvorrichtung 1—158
gleitender Betrieb 3—357
gleitender Übergang 3—397
Gleitkomma 1—415
Gleitkommamethode 1—416
Gleitkommaverfahren 1—416
Glimmentladung 4—55
Glimmentladungs-Abstimmgerät 1—501
Glimmentladungskondensator 1—501
Glimmentladungsstabilitron 3—423
Global-Optimisator 2—445
Glühelektronenemission 4—37
Glühkathode 2—22
Graphechon 1—272
Graphechonröhre 1—272
Graphentheorie 1—272
Grenzen der Proportionalregelung 3—205
Grenzfrequenz 1—272
Grenzwert 3—60
Grenzwertregeleinrichtung 3—221
Größen-Darstellungswandler 3—69
Gruppenoperation 1—273
Gruppenspannungsregelung 1—273
Güte 1—374
Gütebestimmung 2—26
Gütefaktor 1—374
Gütefaktormesser 2—141
Gütegrad 1—374
Güteparameter 2—26

H

Haarhygrometer 1—259
Haftstelle in Halbleitern 2—179
halbabgeglichene Brücke 2—334
Halbadder 3—40
Halbleiter 3—18
Halbleiterbolometer 1—110
Halbleiterdiode 1—340
Halbleiter-Filme 2—510
Halbleiterfotozelle 4—278
Halbleitergleichrichter 3—35
Halbleiter-Gleichstromumformer 3—36
Halbleiterlaser 3—31
Halbleiter mit Ionengitter 3—22
Halbleiterplasmageräte mit Magnetsteuerung 3—32
Halbleitersperrschicht 1—402
Halbleiterstabilisator 3—410
Halbleitertetrode 4—40
Halbleiterthermoelement 4—39
Halbleiterthermostat 4—33
Halbleiterventil 3—33
Halbleiterverbindung aus drei- und fünfwertigen Atomen 3—30
Halbleiterverbindung vom Typ $A^{III}B^{V}$ 3—30
Halbleiterverstärker 4—201
Halbleitervervielfacher 4—142
Halbleiter-Wärmeleitung 3—28
Halbleiterwärmewiderstand 4—32
Hallpotentialdifferenzsonde 1—291
Hallsonde 1—291
Halt 2—457
Handschrifterkennung 3—160
harmonische Bewegung 1—212
harmonische Bilanz 1—211
harmonische Linearisierung 2—163
harmonische Oberwellen in Stromrichtern 1—182
harmonische Schwingungen 1—210
harmonischer Analysator 1—210
harmonischer Eingriff 1—212
harmonischer Synthesator 1—211
harmonisches Signalspektrum 1—211
harmonische Störung 1—212
Haupteingang 2—457
Hauptladungsträger 2—457
Hauptoszillator 1—215
Heizinduktor 1—458
Heizkreis 2—360
Heizungsinduktor 1—458
Helligkeitspyrometer 2—501
Heptode 1—256
Heraushebung des Nutzsignals aus dem Rauschen 1—171
hermetischer Abschluß elektronischer Apparatur 1—258
Heultongenerator 1—227
Hexode 1—213
Hilfskontakt 1—109
Hilfsschütz 1—109
Hilfsträgerfrequenz 3—6
Hochfrequenzerhitzungsgenerator 1—213
Hochfrequenzfilter 4—247
Hochfrequenzgenerator 1—213
Hochfrequenzklebung 3—356
Hochfrequenz - Nachrichtenkanal 2—14
Hochfrequenzoszillator 1—213
Hochfrequenzschweißung der Thermoplasten 3—303
Hochfrequenztransformator 4—91
Hochfrequenzverleimung 3—356
Hochfrequenzverstärker 4—192
Hochfrequenzwärmegenerator 1—213
Höchstfrequenzdiode 1—340
Höchstfrequenzdrossel 1—384
Höchstfrequenzgenerator 1—245
Hodograph 1—270
Hohlleiter 1—149
Hohlraumresonator 3—241
Hohlrohr 1—149
Homäostasis 1—270
Homomorphismus 1—271
Hurwitzsche Determinante 1—274
Hurwitzsches Kriterium 1—274
hydraulische Integrieranlage zum Lösen von Differentialgleichungen 1—470
hydraulischer Akkumulator 1—259
hydraulischer Antrieb 1—261
hydraulische Regeleinrichtung 3—209
hydraulische Regeleinrichtung zur Regelung der Geschwindigkeit 3—226
hydraulischer Integrator 1—265
hydraulischer Kanal 2—11
hydraulischer Kraftzylinder 1—270
hydraulischer Quadrant 2—27
hydraulischer Speicher 1—259
hydraulischer Stellmotor 1—259
hydraulischer Verstärker 1—262
hydraulischer Vorwähler 3—165
hydraulischer Wirkungsmechanismus 1—259
hydraulische Verstellvorrichtung 1—259
hydrodynamischer Ultraschallstrahler 1—264
hygroskopischer dilatometrischer Gasfeuchtemesser 1—133
hygroskopischer elektrochemischer Gasfeuchtemesser 1—134
hygrostatischer Dichtemesser 2—511

I

IFAC [Internationaler Verband für automatische Steuerung] 2—274
Ignitron 1—432
Ignitronröhre 1—432
Ikonoskop 1—448
imaginärer Frequenzgang 4—316
Impedanz 3—381
Impedanzröhre 3—185
Impuls-Amplitudenmodulation 2—327
Impulsbetrieb 1—450
Impulsbreitengeber 1—277
Impulsbreiten-Modulation 2—328
Impulscode-Modulation 2—327
Impulsdauer 1—373
Impulsdauer-Multiplicier - Dividiertrieb 1—165
Impulseinwirkung 1—449
Impulselement 1—450
Impulserzeuger 1—216
Impulsflanke 1—448
Impulsformkorrektur 4—272
Impulsformung 4—269
Impulsfrequenzmodulation 2—328
Impulsgenerator 1—216
Impulsgenerator für Systeme der Fernwirktechnik 1—217
Impulsglied 1—450
Impulshöhenanalysator 1—66
Impulskommutatorgenerator 1—222
Impulslängengeber 1—277
Impulsmodulation 2—327
Impulsmodulator 2—321
Impulsoszillator 1—216
Impuls-Phasenmodulation 2—328
Impulsregeleinrichtung 3—212
Impulsregelung 3—199
Impulssignal 1—450
Impulsstabilisierung 3—415
Impulssteuerung (Stoßsteuerung) elektrischer Antriebe 1—449
Impulssystem 1—449
Impulsthyratron 4—47
Impulstransformator 4—96
Impulsübergangsfunktion 1—126, 448
Impulsverhältnis 3—356
Impulsverstärker 4—193
Impulsverzerrung 1—505
Impulsverzögerung 1—399
Impulszähler 3—456
Impulszeichen 1—450
Impulszeitgeber 1—277
Impulszeit-Multiplizier-Dividiertrieb 1—165
Inbetriebnahme elektronischer Ziffernmaschinen 2—361
indirekte Messungen 2—130
indirekte Regeleinrichtung 3—221
Induktionsdurchflußmesser 3—176
Induktionserhitzung 1—463
Induktionserwärmungs-Wechselstromfrequenz 1—462
Induktionsheizung 1—463
Induktionsspule 1—458
Induktionstrocknung von Lackfarbenüberzügen 3—452
Induktionsverbindung 1—458
induktive Durchwärmung 1—467
induktive Erwärmung 1—463
induktive Kopplung 1—458
induktiver Geber 1—279
induktives System der Synchronverbindung 3—251
industrielle Automatisierung 1—20
industrielle Elektronik 3—108
industrielles Fernsehen 3—477
induzierte und inkohärente Streuung des Lichtes 3—172
Influenzelektrisiermaschine 1—249
Influenzmaschine 1—249
Information 1—492
Informationsauswahlzeit 1—162, 163
Informationsdarstellung 1—482
Informationseingabe [Dateneingabe] in Analogrechnern 1—117
Informationseingabe [Dateneingabe] in Ziffernrechenautomaten 1—117
Informationsensemble 1—89
Informationserschließung 1—479
Informationserschließungsmaschine 1—486
Informationsquelle 1—521
Informationsrepräsentierung 1—482
Informationssuchbetrieb 1—490
Informationssystem 1—489
Informationstheorie 1—483
Informationsträger 2—386
Informationsübertragungsgeschwindigkeit 1—483
infrarote Spektroskopie 3—391
Infrarottechnik 1—493
Inhibition 1—414
Injektion in die Sperrschicht (von Halbleitern) 1—468
Injektion von Minoritätsladungsträgern 1—468
innere lichtelektrische Erscheinung 1—142
innerer Photoeffekt 1—142
innerer unstabiler Zustand (eines Gerätes mit Relais) 2—384
innerer Widerstand 3—379
Institut für Automatik und Fernwirktechnik 1—469
Instrumentenzeigeänderung 1—115
Instrumenteneichung 1—271
Instrumentenkalibrierung 1—271
Integraltransformation 1—469
Integration-Differentiations-Netzwerk 1—474
Integrationsglied 1—472
Integrieranlage 1—472
integrierende Einrichtung 1—472
integrierendes Gerät 1—472
integrierendes Glied 1—472
integrierendes Netzwerk 1—472
Integriernetzwerk 1—472
Integrierschaltung 1—472
Intensität-Fernmeßsystem 3—483
Interferenzschwingungen 1—104
Internationale automatische Steuerung 1—524
Internationales Einheitssystem 2—274
Interpolator 1—475
Interpretationsmethode 1—476
Interpretierungsmethode 1—476
invariantes Regelsystem 3—202
Invarianz 1—450
Inversionsschicht 1—451
Inversionsstruktur 1—451
Inverterstufe 1—451
Ionenableiter 1—504
Ionenröhre 1—207, 501
Ionenstromgenerator mittlerer Frequenz 1—226
Ionenumwandler 3—65
Ionenventil 1—207
Ionenventile 1—501
Ionisationsdurchflußmesser 3—176
Ionisationsvakuummesser 1—113
Isochronbereich (eines Zustands- oder Phasenraumes) 1—447
isodrome Regeleinrichtung 3—211
Isodromregelung 3—199
Isolationswiderstand 3—379
Isomorphismus 1—446
Istwert der Regelgröße 3—473
Istzeitanalogrechner 1—75
Iteration 1—524
Iterationsstruktur 1—523
Iterations-Suchbetrieb 3—11

K

Kabel 2—5
Kabel- und Luft-Verbindungsstrecken 2—173
Kaltkathode mit eigenerzeugter Emission 2—24
Kaltkathoden-Gasentladungsgerät für Ionen-Impulsbetrieb 2—138
Kanal 2—9
Kanalentfernung 3—143
Kanal für die Steuerung der Schutzrelais 2—13
Kanal für die Steuerung der Sicherheitsrelais 2—13
Kanalkapazität 3—108
Kanalzeitverteilung 1—161
Kapazität der äquivalenten Reaktanz von n-p-Übergängen 1—392
Kapazität der Fernwirkanlagen 1—395
Kapazität der Fernwirkungssysteme 1—395
Kapazitätskopplung 1—392
kapazitive Kopplung 1—392
kapazitiver Geber 1—279
Karcinotron 2—20
Karmatron 2—20
Kaskadenschaltung von Asynchronmaschinen 2—21
Kaskodenverstärker 4—193
Kathodenfolger 2—26
Kathodenfolgestufe 2—26
Kathodengleichrichter 1—314
Kathodenzerstäubung 2—25
Kavitations-Erosion 2—6
Kippgenerator 1—219, 242
Kipprelais 2—40
Kippschwinger 1—219, 242
Kippschwingungserzeuger 1—227
Klasseneinteilung für Meßgeräte 1—445
Klirrfaktor 2—43
Klirrverzerrung 1—507
Klystron 2—43
Klystronoszillator 1—230
Klystron-Verstärker 2—44
Knudsen-Manometer 1—114
Koaxialleitung 2—46
Koaxialresonator 3—240
Kobol 2—46
kohärente elektromagnetische Schwingungen 2—47
Kohlenregler 3—229
Koinzidenzschaltung 1—119; 3—374
Kollektor-Rückstrom 2—398
kombinierter Analog-Digitalrechner 1—88
kombinierte Rechenmaschine 2—65
kombinierte Röhre 2—158
kombiniertes Folgesystem 3—361
kombiniertes Regelungssystem 3—203
Kommando 2—63
Kommando-Bildung 2—63
Kommando-Code 2—50
Kommandogerät 2—65
Kommando-Magistrale 2—210
Kommandomaschine 2—65
Kommando-System 2—62
Kommando-Umadressierung 2—476
Kommandozähler 3—458
Kommutator 2—67
Kompensationsdruckgeber 1—278
Kompensationsgerät 2—76
kompensierter Halbleiter 3—22
Komplex 2—79
komplexe Automatisierung 2—82
komplexer Übertragungsfaktor 2—478
Komplexierung von Maschinen 2—81
Komplex-Paket 2—83
komplizierte Systeme 3—365
Kondensator 2—84
konduktometrischer Konzentrationsmesser 2—109
Konkretisierung des standartisierten Unter-Programms 2—87
konservatives System 2—87
konstante Komponente 3—57
Konstanthalter 3—402
Konstantwiderstand 3—381
Konstruktion von Ziffernrechenmaschinen in Mikromodul-Bauweise 2—287
Kontakt 2—88
Kontaktanordnung 1—513, 514
«Kontaktbaum» 1—310
Kontakt-Druckknopf 2—45
Kontaktgeber (Meßwandler) für geometrische Größen 1—283
Kontakt-Halbleiter-Halbleiter 2—93
Kontakt-Halbleiter-Metall 2—92
kontaktlose mit logischen Elementen bestückte Steuerschaltungen für elektrische Antriebe 1—102

kontaktloser Drehmelder 3—317
kontaktloser fernwirktechnischer Vorwähler 3—166
kontaktloses elektrisches Relais 3—257
kontaktloses Relaiselement 3—266
kontaktreellen Widerstandes 2—91
Kontaktzerhacker 1—128
kontinuierliche Abhängigkeit 2—380
kontinuierliches Extremalsystem 4—358
kontinuierliches Signal 2—380
kontinuierliche Stabilisierung 3—416
kontinuierliche Steuersystem-Modelle 2—94
kontinuierlich wirkendes Optimisierungssystem 2—450
Kontrollaufgabe 4—39
Kontrolle des Aufgabenkomplekts 2—98
Kontrolle des Aufgabensatzes 2—98
Kontrolle elektronischer Ziffernrechenmaschinen 2—103
Kontrolleinrichtung (in der Automatisierungstechnik) 2—95
Kontrolle nichtstationärer Felder 2—383
Kontrollgerät 2—106
kontrollierendes Unter-Programm 2—95
Kontrollmethoden ohne Zerstörung 2—109
Kontrollrechnungen 2—107
Kontroll-Summierung 2—107
Kontrollzeichen 2—107
Konvektionsstrom 2—83
konvexe Programmierung 1—179
konzentrierte Induktivität 1—458
konzentrierte Kapazität 1—396
konzentrierter Parameter 2—469
Koordinatenschreiber 2—114
Koordinaten-Verbinder 2—114
Kopplungskoeffizient 3—310
Korona-Entladung 2—118
Koronaentladungsstabilitron 3—421
Korona—Sperrung 2—121
Korrektur der dynamischen Eigenschaften 2—124
Korrekturelement 2—123
Korrekturkennlinien 2—124
Korrekturkreis 2—122
Korrelation 2—127
Korrelationsfunktion 2—125
Korrelations-Kompensation 2—73
Korrelationsmesser 2—124
Korrelator 2—125
Kraftmesser 1—335
Kreisdämpfung 1—417
Kreisdiagramm 2—139
Kreis mit Richtwirkung 2—411
Kreuzkorrelationsfunktion 2—126
Kristall 2—138
Kristallbaufehler 1—345
Kristalldiode 1—340
Kristalldruckabnehmer 1—281
Kristalldruckgeber 1—281
Kristallgitterfehler 1—322
kristallischer Verstärker 2—138
Kristallorientierung 2—456
Kristalloszillator 1—229
Kriterien der optimalen Steuerung 2—425
Kryosar 2—137
Kunstleitung 1—372
künstliche Leitung 1—372
Kupferoxydul 1—399
Kupplung 3—151
Kuproxyd 1—399
kurzgeschlossene Leitung 2—122
Kurzschlußtransformator 4—98
Kurzzeit-Betriebsart 2—133
Kybernetik 2—34
Kybernetik der elektrischen Energieversorgungs-Systeme 2—37
kybernetisches Modell 2—39
kybernetisches System 2—39

L

Ladungsträger-Beweglichkeit 3—6
Ladungsträgerbewegung im elektrischen Koronafeld 1—291
Ladungsträgerdiffusion in Halbleitern 1—365
Ladungsträgererzeugung 1—256
Ladungsträgerlaufzeit 1—165
Ladungsträgerlebensdauer 1—162
Ladungsträgervervielfachung im Kollektorübergang 4—141
laminare Drossel 1—383
lange Leitung 1—371
Laser 2—144
Laststufenschalter (in der Starkstromtechnik) 2—95
Lastverteilerwarte 1—347
Lauffeldröhrengenerator 1—236
Laufzeitnachbildung 1—156
Laufzeitverzerrung 1—507
lawinenartig anwachsende Gleichstrom-Leitfähigkeit 2—143
Lawinen-Durchschlag 2—143
legierter Halbleiter 3—22
Legierungs-Leitung 3—92
lehrende Maschine 2—401
Leistungsfaktor des elektronischen Antriebs 2—132
Leistungsfaktor des Ionenantriebs 2—131
Leistungskoeffizient des elektronischen Antriebs 2—132
Leistungskoeffizient des Ionenantriebs 2—131
leistungsloser Speicher 1—412
Leistungsverstärker 4—195
Leitfähigkeit vom *n*-Typ, *n*-Leitung 3—94
Leitung 2—5
Lenkungsprogramm 3—96
Leonard-Maschinensatz 1—252
Leonard-Regelsatz 1—252
Leonardschaltung 1—252
lernende Maschine 2—398
lernendes System der automatischen Optimisierung 3—293
Lesekopf 4—331
Lesen 3—458
Lesezeit 3—460
Leuchtturmröhre 2—147
Lichtbogenentladung 1—388
Lichtbogen-Löschkammer 1—390
Lichtbogenlöschpule 1—389
lichtelektrischer Verschiebungsgeber 1—281
Licht- und Bildverstärker 4—190
lineare Programmierung 2—170
linearer Kreis 2—169
lineare Schaltung 2—169
lineares System 2—169
lineare Verzerrungen 2—173
Linearisierung 2—163
Linearisierung der Maßwertgeber-Kennlinien 2—168
Linearisierung durch die Methode der kleinen Schwingungen 2—163
Linearisierungsbereich 2—163
Linearitätsbereich 1—429
Linearitätszone 1—429
Ljapunow-Methode 2—209
Lochelektron 1—391
Locher 2—494
Löcherleitfähigkeit 3—94
Lochkarte 2—496
Lochkarten-Rechenmaschine 2—496
Lochleitfähigkeit 3—94
logarithmische Amplitudenfrequenzkennlinie 1—61
logarithmische Phasenfrequenzcharakteristik 4—226
logarithmischer Verstärker 4—194
logarithmische Schaltung 2—179
logarithmische Verstärkungs- und Dämpfungseinheiten 2—179
Logik 2—180
logische Maschine 2—193
logische Operation 2—198
logischer Kreis 2—204
logische Schaltung 2—204
logisches Element 2—205; 4—431
logisches Element der Analogie-Rechenmaschine 2—208
logische Skala 2—204
logisches Operatorschema der Ziffern-Rechenmaschine 2—195
logisches Programm-Schema 2—202
logisches Schema 2—199, 203
logisches Thyratron 4—49
lokale Pegel 2—208
Lokaloszillator 1—259
Loschdrossel 1—389
Löschen der Information 3—436
Löschkammer 1—390
Löschspule 1—389
Lösungsfehler 3—5
Lötung bei Induktionserwärmung 2—466
Lötung bei induktiver Erwärmung 2—466
Luftvorbehandlung für Druckluftanlagen 1—147

M

Magnesin 2—210
Magnetband 2—216
Magnetbandbereich 1—429
Magnet-Elektroentladungsvakuummesser 1—114
magnetische Aufzeichnung elektrischer Signale 2—214
magnetische Blasung 1—390
magnetische Kopplung 1—458
magnetische Lichtbogenblasung 1—390
magnetische Messungen 2—220
magnetischer Gasanalysator 1—196
magnetischer Modulator 2—225
magnetischer Operatorverstärker 2—420
magnetischer Träger 2—227
magnetischer Trigger 2—228
magnetischer Umformer 3—65
magnetischer Verstärker 2—229
magnetischer Wandler 3—65
magnetischer Widerstand 3—380
magnetische Tinte 2—222
Magnetkopf 2—213
magnetoelastischer Geber 1—280
magnetomechanischer Gasanalysator 1—197
Magnetometer 2—235
Magnetostriktion 2—239
Magnetostriktionsfilter 4—250
Magnetostriktionsgenerator 1—234
Magnetostriktions-Wandler 3—69
magnetostriktive Materialien 2—237
magnetostriktiver Geber 1—280
magnetostriktiver Oszillator 1—234
magnetostriktiver Umformer 2—238; 3—69
magnetostriktive Werkstoffe 2—237
Magnetrelais 3—251
Magnetron 2—211
Magnetrongenerator 1—233
Magnetronoszillator 1—233
Magnetscheibe 2—224
Magnettrommel 2—222
Magnetverstärker 4—195
Magnistor 2—213
Mangelelektron 1—391
Manometer 2—244
Manometer mit Rohrfeder 1—111
Markengenerator 1—236
Markierungszeichen 2—247
Maschine mit durchlaufender Ziffernkontrolle 2—390
Maschinenarbeitstakt 3—469
Maschinen-Null 2—257
Maschinen-Operation 2—421
Maschinensprache 1—491
Maschinenwort 3—365
Maschine vom Serienwirkungstyp 3—56
Maser 2—240
Massenspektrometer 2—250
Maßstabanpassung 2—252
Maßstabeinführung 2—252
mathematische Linguistik 2—160
mathematische Logik 2—184
mathematische Modellierung 2—306
mathematische Programmierung 2—255
Maximal-Prinzip 2—241
mechanische Güte 1—375
mechanische Kennlinien von Elektromotoren 2—278
mechanischer Leistungs-Verstärker 2—279
mechanischer Ultraschall-Strahler 2—278
mechanisches Relais 3—251
mechanisch gesteuerte Elektronen- oder Ionenröhre 2—280
Mechanotron 2—280
medizinische Elektronik 2—261
mehrfache Phasenebene 4—225
Mehrfachimpulsregeleinrichtung 3—213
Mehrfach-Modulation 2—327
Mehrfachprogrammierung 2—339
Mehrheitslogik 2—184
mehrkreisiges Regelungssystem 3—203
Mehrlochferritplatte 4—239
Mehrpolrelaiseinrichtung 3—267
Mehrpunktregeleinrichtung 3—213
Mehrpunktrelaiselement 3—266
mehrstellige Logik 2—190
Meldungsensemble 1—89
Membran 2—275
Memistor 2—275
Mengenmesser 3—177
Mesa-Transistor 4—86
Meßapparatur für die Bestimmung von Stoffzusammensetzung und Eigenschaften 3—385
Meßfehler 2—523
Meßfühler 1—155
Meßgerätgüte 1—374
Meßgerät mit Gleichrichter 1—179
Meßgerät zur konduktometrischen Konzentrationsmessung 2—109
Meßmethoden für die Wasserstoff-Ionenkonzentration 2—110
Meßoszillator 1—246
Meßsender 1—246
Meßstufe 1—100
Messung der Diodendaten 1—343
Messung der Halbleiter-Parameter 3—25
Messung der Konzentration von Flüssigkeiten 2—111
Meßtransformator 4—96
Meßwandler 1—275
Metall-Keramik-Senderöhre kleiner und mittlerer Leistung 2—147
Methode der Aufzeichnung der Trajektorien der charakteristischen Gleichung 2—115
Methode der Energiebilanz 4—434
Methode der ersten Annäherung 2—475
Methode der Integralkriterien 1—469
Methode der konsequenten Planverbesserung 3—57
Methode der Phasenebene 4—227
Methode der programmierenden Programme 3—103
Methode der Programmothek 1—103
Methode der Pseudozufallszahlen 3—112
Methode der trapezförmigen Frequenzkennlinien 4—101
Methode der Wurzelverteilung 3—162
Methode der Zusammenfassung 2—77
Methode des kleinsten Parameters 2—243
Methoden zur Messung der Transistorparameter 4—76
Michailow-Kriterium 2—296
Mikroelement 2—292
Mikrominiaturisierung 2—283
Mikromodul 2—286
Mikro-Programmsteuerung einer Ziffernrechenmaschine 2—290
Mikroschaltung 2—291
Mikrowellengenerator 1—245
Mikrowellengenerator für Dielektrikheizung 1—213
Mikrowellenoszillator 1—245
Miniatur-Ausschalter 2—282
Miniaturröhre 2—148
Miniaturschalter 2—282
Minimal-Glied 2—294
Minimal-Phasen-System 2—293
Minimax 2—293
Minimisierung 2—294
Mischanordnung 3—371
Mischer 3—371
Mischglied 3—371
Mischsteilheit 2—140
Mischstrategie 3—371
Mitnahme 1—418
Mitnahmeerscheinung 1—418
Mittelfrequenzgenerator 1—234
mittlere quadratische Abweichung 2—460
mittlerer quadratischer Fehler 2—465
Mitzieheffekt 1—419
Mitziehen 1—419
mnemonisches Schema 2—297
modale Logik 2—192
Modellierung 2—301
Modellierung des Ummagnetisierungs-Verhaltens 2—312
Modellierung selbsttätiger Systeme unter Berücksichtigung des Rauschens 2—303
Modellierung typischer Nichtlinearitäten 2—314
Modellierung von bedingten Reflexen 2—315
Modellierung von Impulssystemen 2—305
Modellierung von Produktionsvorgängen auf Ziffern-Rechenmaschinen 2—308
Modellierung von Systemen unter Benutzung der tatsächlichen Geräte 2—313
Modifikation der Kommandos 2—62
Modul 2—319
Modulation 2—324
Modulation in der Fernwirktechnik 2—325
Modulator 2—320
Molekularelektronik 2—328
molekularer Generator 2—329
Molekulargenerator 1—236
Molekularverstärker 4—195
monostabile oder bistabile Multivibratorschaltung 2—40
monotoner Prozeß 2—330
Monte-Carlo-Methode 2—330
Mössbauerischer Effekt 2—276
Motorgenerator 1—252
Motorstufe 1—513
Muffe 2—340
Multiplikationsanordnung mit parallelen Rechenkanälen 2—300
Multiplizierеinheit 2—486
Multivibrator 2—337
Muttergenerator 1—215

N

Nachbildung 1—156
Nacheilung der Phase 2—465
Nachlaufperiode 3—286
Nachrichteneinheit 1—477
Nachrichtenelement 1—477
Nachrichtenensemble 1—89
Nachrichtenkanal 3—309
Nachrichtenkanal über Energieverteilungsnetze 2—17
Nachrichtenkanal über Hochspannungsleitungen 2—15
Nachrichtenmenge 1—478
Nachrichtenquelle 1—521
Nachrichtentheorie 1—483
Nachstellungseinwirkung 1—146
natürliche Zahlenrepresäntationsform 1—396
Nebeneingang 1—167
Nebenkontakt 1—109
Neben-Ladungsträger 2—380
negativer Widerstand 3—380
Nein-Schaltung 1—452
Neon—Anzeigeröhre 2—149
Neper 2—380
Nervennetze 2—381
netzgeführter Wechselrichter 1—454
Netzregler 3—214, 215
Netztransformator 4—100
Neunersystem 1—299
neuristisches Programm 3—97
Neuristor 2—370
Neuronenmodell 2—371
neutraler Zustand (des Relaiskreises) 1—102
neutrales Objekt 2—374
neutrale Zone 1—430
Neutralisation 2—373
nicht ausnutzbarer Zustand 2—370
nichtlineare Brücke 2—332
nichtlineare Erscheinungen im akustischen Feld 2—379
nichtlineare Programmierung 2—376
nichtlineares Glied 2—376
nichtlineares Lösungselement 2—380
nichtlineares System 2—374
nichtlineare Verzerrung 1—507
nichtlineare Verzerrungen 2—379
Nichtlinearität 2—378
Nicht-Schaltung 1—452
nichtstationärer Betrieb 2—384
nichtstationärer Prozeß 2—383
nichtstationärer Vorgang 2—383
Nicht-Tor 1—452
nicht zerstörendes Lesen 3—459
Niederfrequenzfilter 4—250
Niederfrequenz-Induktionserhitzung 1—466
Niederfrequenzinduktionsheizung 1—466
Niederfrequenztransformator 4—97
Niederfrequenzverstärker 4—200
Niveau der Informationscodierung 4—189
Niveau-Regelgeber 1—290
n-Leitung 3—94
normale Markoff-Algorithmen 2—386
normales Rauschen 4—342
Normalform der Zifferndarstellung 2—386
Normalform der Ziffereingabe 2—386
normalisierte Zahl 2—386
normalisierte Ziffer 2—386
Notabschaltung 1—9
Notabstellung 1—9
Notschaltung 1—9
Notstillsetzung 1—9
Notstoppen 1—9
Notstoppvorrichtung 1—9
Nullanzeigegerät 1—457
Nullindikator 1—457; 2—388
Null-Kompensationsmethode 2—73
Nullpunktstabilität 3—425
Nullversatz beim Operationsverstärker 1—380
Nullwertmelder 2—388
numerische Codierung von Begriffen 4—328
Nutzkomponente 3—16
Nutzsignal 3—16
Nuwistor 2—387
Nyquist-Kriterium 2—359

O

Oberflächeneffekt 2—522
Oberflächen-Induktionshärtung 2—521
Oberflächenrekombinations-Geschwindigkeit 3—358
Oberschwingungserzeuger 1—213
Oberwellenanalysator 1—210
Oberwellengenerator 1—213
offener Stromkreis 3—145
ohmscher Kontakt 2—91
ohmscher Widerstand 3—378
ökonomischer Nutzen der Automatisierung 4—352
Oktalsystem 1—159
Oktode 2—412
Ölantrieb 1—261
Ölwindkessel 1—259
Operand 2—412
Operationsbeschleunigung 4—214
Operationsgeschwindigkeit 3—358
Operationssteuerung 4—158
Operationsuntersuchung 1—518
Operationsverstärker 2—416
Operationsverstärker-Nullwanderung 1—380
Operator einer logischen Schaltung 2—413
Operatoren des Programms 2—416
Operatormethode der Programmierung 2—415
Operatorverstärker-Nulldrift 1—380
Ophitron 2—465
optimaler Filter 4—251
optimale Steuerung 2—431
optimale Steuerung eines elektrischen Antriebs 2—434
optimale Strategien 2—437
Optimalprozeß bezüglich des zeitlichen Ablaufs 2—438
Optimalsysteme 2—436
Optimalwert 2—431
Optimisator 2—440
Optimisierungssystem 2—446
Optimisierungssystem auf Analogrechenanlage 2—450
optisch-akustischer Gasanalysator 1—198
optischer Gasanalysator 1—199
optischer Nachrichtenkanal 2—19
optische Spektroskopie 3—393
optisches Pyrometer 2—501
optisches Relais 3—254
optische Verbindung 3—310
Optron 2—451
Ordnung der Ziffer 3—56
organische Halbleiter 3—29
Organisierung der Betriebsführung und Betriebswirtschaft 2—453
Orthikon 2—457
örtliche Beobachtung 2—98
örtliche Kontrolle 2—98
Oszillator nichtsinusförmiger Schwingungen 1—239
Oszillatorröhre 1—254
Oszillograph 2—457
Oszillographenröhre 2—459

P

Pandemonium 2—467
Parallelanalogrechner 1—78
Paralleldrahtleitung 1—297
parallele Stabilisierung 3—416
Parallelresonanz 1—92
Parallel-Serien-Struktur 2—468
Parallel-Serienwirkungs-Maschine 2—468
Parallelwirkungs-Maschine 2—467
paramagnetischer Quantenverstärker 2—469
paramagnetisches Sauerstoff-Analysengerät 1—197
Parameter-Abfrage 2—423
Parameterbereich 2—469
Parameter-Raum 3—109
Parameterverstärker 4—200
parametrische Programmierung 2—472
parametrischer Diodenverstärker 1—339
parametrische Resonanz 3—238
parametrischer Verstärker 2—469
Parametron 2—473
Pendelgleichrichter 1—128
Pendelwechselrichter 1—128
Penning-Manometer 1—114
Pentagridröhre 1—256
Pentode 2—474
Perceptron 2—493
Perforator 2—494
periodische Bewegung 2—493
periodischer Betrieb 2—492
periodischer Kurzbetrieb 2—523
periodischer Taster 1—450
Periodizitätsbedingung 2—493
Permanentspeicher 1—412
Pert 2—493
Phantastron 4—236
Phasenbild 4—229
Phasendetektor 1—316
Phasendiskriminator 1—316; 4—229
Phasenebene 4—225
Phaseneinholung 2—422
phasenempfindlicher Gleichrichter 1—177
phasenempfindlicher Nullindikator 4—235
Phasenfrequenzcharakteristik 4—226
Phasenfrequenzkennlinienwert 1—440
phasengeschobener Gleichrichter 4—233
Phasenmesser 4—230
Phasenmodulation 2—328
Phasenmodulator 2—323
Phasenraum 4—226
Phasenschieber 4—227
Phasenspalter 4—232
Phasenüberholung 2—422
Phasenüberschuß 1—440
Phasenumkehrer 4—229
Phasenverschiebung 3—312
Phasenverschiebungskette 4—232
Phasenverschiebungskreis 4—232
Phasenverwerfung 1—507
Phasenverzerrung 1—507
Phasometer 4—230
photoelektrischer Verschiebungsgeber 1—281
photoelektrischer Verstärker 4—207
photokolorimetrisches Gasanalysengerät 1—203
Photozelle mit äußerem lichtelektrischem Effekt 1—115, 204
physikalische Elemente der Rechentechnik 4—244
piezoelektrischer Effekt 3—125
piezoelektrischer Wandler 3—72, 123
piezoelektrische Werkstoffe 3—121
PI-Glied 1—446
PI-Regelungseinrichtung 1—446
Planungstheorie 3—151
Plasmaphasenverschieber 4—228
Platinotron 2—509
pneumatische Drossel 1—383
pneumatische Drossel gemischten Types 1—384
pneumatische Kammer 2—7
pneumatische lange Leitung 1—372
pneumatische Leitung 2—6
pneumatischer Analogrechner 1—190
pneumatische Regeleinrichtung 3—221
pneumatischer Ejektor 4—350
pneumatischer Folge-Kolbenantrieb 2—520
pneumatischer Funktionsumformer 2—518
pneumatischer Integrator 1—470
pneumatischer Inverter 1—456
pneumatischer Kanal 2—12
pneumatischer Kolben-Ausführungsmechanismus 2—516
pneumatischer Laufzeit-Block 2—514
pneumatischer Membran-Arbeitsmechanismus 2—516
pneumatischer Membran-Ausführungsmechanismus 2—516
pneumatischer Meßwandler für geometrische Größen 1—282
pneumatischer Rechenverstärker 3—280
pneumatischer Stecker 2—519
pneumatischer Summator 2—517
pneumatischer Vibrationsantrieb 2—519
pneumatisches Modelliergerät 2—317
pneumatisches Relais mit Düse-Prallplatte 3—254
p-n-Übergang 2—521; 4—380
Polarograph 3—41
Positions-Rechensystem 3—8
Potentialmethode 3—58
Potentiometer 3—59
Präzession 3—60
Primimplikand 1—448
Prinzip der Normalisierung 2—385
Probeaufgabe 4—39
Probleme der Momente 3—93
Programm 3—94
Programmablage 2—461
Programmanalyse des Maschinenausfalls 3—95
Programmbibliothek 1—103
Programm-Einspeisung 3—96
programmierendes Programm 3—101
programmiertes Prüfen 1—516
Programmierung 3—97
Programmierungsmethode mittels Befehlsbibliothek 1—103
Programmierungssprachen 4—445
Programm-Konstanten 2—88
Programm-Kontrolle 2—99
Programmodellierung in reellen Zeitmaßstab 2—307
Programmorganisation 2—452
Programmothek 1—103
Programmprüfung 1—302
Programmregeleinrichtung 3—222
Programmregelung eines Systems 3—104
Programmsammlung 1—103
Programmsteuerung 3—104, 200
Programmverzweigung 3—143
Programm-Zuführung 3—96
Programmzyklen 4—290
Projektierung einer elektronischen Anlage 4—385
prophylaktische Kontrolle 2—100
Proportionalbereich 1—430
proportionalwirkende Regeleinrichtung 3—223
Prozent-Brücke 2—334
Prüfaufgabe 4—39
Prüfprogramm 1—516; 4—39
Prüfprogrammsystem 1—518
Prüfungen elektronischer Apparatur 1—515
Pseudoadresse 3—322
pseudolineares System 3—112
Psychrometer 3—116
Pufferspeicher 1—411
Pufferstufe 1—111
Pulsdauergeber 1—277
Pulssystem 1—449
Pumpe 2—363
punktförmige Induktivität 1—458
punktförmige Kapazität 1—396

Q

quadratische Programmierung 2—27
Quantelung 1—345
Quanten-Optik-Generator 2—31
Quantensystem 2—30
Quantenverstärker 2—32
quantisiertes Signal 1—345
Quantisierung 1—345; 2—30
Quantisierungsfehler 2—523
Quarzdruckgeber 1—281
Quarzfilter 4—249
Quarzgenerator 1—229
Quarzoszillator 1—229
Quarzresonator 3—238
Quarzstabilisierung 2—32
Quarzwind 1—428
quasi-abgeglichene Brücke 2—331
Quecksilberdampfgleichrichter 3—284
Quecksilberdampfventil 3—282
Quotientenfrequenzdemodulator 1—314

R

Radioelektronik 3—141
radioisotopischer Dichtemesser 2—513
Radiometermanometer 1—114
Radiospektroskopie 3—137
Radiotelemetrie 3—140
Raster 3—173
Ratiodetektor 1—314
rational-gebrochene Funktion 1—381
Rauchmesser 1—390
räumliche Struktur 3—109
Rauscheffekt 1—381
Rauschen 3—42; 4—346
Rauschen in elektronischen Geräten 4—346
Rauschfaktor 4—345
Rauschgenerator 1—248
Rauschmeßgeräte 4—343
Rauschspannung 4—343
Rauschtemperatur 4—343
Raus'sches Kriterium 3—184
RC-Filter 4—254
RC-Generator 1—238
RC-Verstärker 3—235
Reaktion auf einen Einzelimpuls 3—189
Reaktion auf eine Wirkung 3—189
Reaktor 1—385
realer Frequenzgang 4—316
Realisierung des Aufbaus eines Relaissystems 3—260
Rechenanlage 1—185, 189
Rechengerät 1—189
Rechenmaschine 1—185
Rechenmaschine mit gelochtem Informationsträger 2—496
Rechenmathematik 1—184
Rechenoperation 1—94
Rechenspeicher 1—407
Rechensprache 1—491; 3—351
Rechentechnik 1—187
Rechentisch 3—182
Rechenwerk 1—95
Rechenzentrale 1—192
Rechenzentrum 1—189
Rechner 1—185, 189
Rechner-Standardbaustein 1—107
Rechner-Standardblock 1—107
Redundanz 1—440
Reduzierung von Rechenoperationen beim Programmieren 4—292
Referenzspannungsquelle 1—521
Regelabweichung 3—173, 204
regelbare Abdämpfung 1—309
regelbarer Widerstand 3—380
Regelbereich 3—202
Regeldiode 1—343
Regeleinrichtung mit mehreren Einwirkungen 3—224
Regeleinrichtung mit nachgebender Rückführung 3—224
Regeleinrichtung mit veränderlicher Abstimmung 3—225
Regeleinrichtung ohne Hilfsenergie 3—223
Regelfehler 3—204
Regelfläche 3—204
Regelgröße 1—183; 3—206
Regelunempfindlichkeit 1—430
Regelung nach einer Ableitung 3—209
Regelungsabstand 3—203
Regelungsintervall 3—203
Regelungsstatik 3—205
Regelungssystem 3—205
Regelungsventil 2—41
Regelzeit 3—202
Regenerierung 3—189
Register 3—189
Registrierung von Meßwerten bei Fernmessungen 3—196
Regler mit Hilfskraft (mit Hilfsenergie) 3—221

Reibung 4—102
Rekombination des Ladungsträger 3—245
Rekombinationsradiation 3—244
rekursive Funktionen 3—245
Relais 3—248
Relaisblockierung 1—108
Relaischarakteristik 3—259
Relaiseinrichtung 3—263
Relaiselement 3—267
Relaiselement mit Wirkungsfestlegung 3—269
Relaisfühlglied 1—156
Relaiskontaktelement 3—266
Relaiskontaktverteiler in der Fernwirktechnik 3—167
Relaiskreis 3—260
Relaisregeleinrichtung 3—223
Relaissperrung 1—108
Relaissystem 3—259
Relaisverriegelung 1—108
Relaiswirkung 3—263
Relaiszweipol 3—266
Relaxationsschwingungen 3—247
Relaxationszeit 1—163
Reproduktion 1—156
Reservierung 1—388; 3—234
Resnatron 3—235
Resonanz 3—235
Resonanzbrücke 2—334
Resonanzfrequenz 3—238
Resonanzverstärker 4—204
Ressource 3—278
Ringmodulator 2—322
Röhrchen-Federmanometer 2—247
Röhre mit Autoemission 2—154
Röhre mit veränderlicher Steilheit 2—155
Röhrengenerator für Induktionserhitzung 1—231
Röhrengenerator für Induktionserwärmung 1—231
Röhrengleichrichter mit Gasfüllung 2—33
Röhrensockel 4—313
Röhrenverstärker 4—194
Röhrenvoltmeter 2—159
Röhre zur Zifferanzeige 2—157
Rohrleiter 1—149
Röntgenprüfung 3—276
Röntgenröhre 3—273
Rotationsflüssigkeitsgradmesser 1—131
Rotationsviskosimeter 1—131
rotierender Durchflußmengenmesser 3—175
Rückdiffusion 2—393
Rückgangsverhältnis 1—146
rückgekoppelter Fernmeßwandler 3—74
Rückkehr-Kommando 2—64
Rückkopplung 2—394
Rückübersetzer 1—304
Rückvercoder 1—304
rückwärtige Koronaerscheinung 2—116
rückwärtiger Code 2—51
Rückwärtswellenröhre 2—20, 150

S

Sachliche Wort—Identität 3—62
Sägezahnförmige Spannung 2—501
Sägezahnschwingungserzeuger 1—241
Sägezahnspannungsgenerator 1—239
Sägezahnstromgenerator 1—240
Saitengeber 1—288
Sammelschaltung 3—371
Sanatron 3—300
Sättigungsbereich 1—429
Sättigungszone 1—429
Schäffersche Funktion 4—340
Schalldruck 1—428
schalloptisches System 4—268
Schallstrahlungsdruck 1—275
Schalter 1—171
Schalttafel 3—461
Schalttransistor 4—74
Schaltungsalgebra 1—51
schaltungsmäßige Kontrolle 2—103
Schaufelradmanometer 1—114
scheinbarer Widerstand 3—381
Scheitelwert 1—60
Schieber 1—429
Schiffchenalgorithmus 4—323
Schlüssel von Fernsteuergeräten 2—45
Schnelldruckhöhedurchflußmesser 3—179
Schnelligkeit 1—111
schnellwirkende Folgesysteme 3—360
schnellwirkender magnetischer Verstärker 2—233
Schnellwirkung 1—111
Schnittfrequenz 3—402
Schottkyeffekt 1—381
Schrittschaltwähler 1—507
Schrittschaltwerk mit elektromagnetischem Antrieb 3—170
Schrittwähler 1—507
Schroteffekt 1—381
Schrotrauschen in Halbleitern 1—381
Schütz 2—93
Schutz elektrischer Antriebe 1—427
Schutz gegen Fehlschaltung und Fehlsignalisierung in der Fernsteuerung 1—419
Schutzrelais 3—249
Schutz von Drehstromfernleitungen 1—423
Schutz von Gleichstromfernleitungen 1—425
Schwächungsglied 1—100
Schwankung 4—266
Schwankung der Instrumentanzeigen 1—115
Schwankungen in elektronischen Geräten 4—263
schwankungslose Bewegung 2—369
Schwankungsspeicherung 2—361
«schwarzer Kasten» (black box) 4—324
Schwebungen 1—104
Schweißen durch HF-Erwärmung 3—302
Schweißung mit Elektronenstrahl 3—305
Schwellenkapazität 1—392
Schwellen-Logik 2—192
Schwellwert 3—55
Schwimm-Dichtemesser 2—512
schwingendes Glied 2—60
Schwingfähigkeit 2—61
Schwingfähigkeits-Anzeiger 2—60
Schwingfrequenz 2—60
Schwinggleichrichter 1—128
Schwing-Glied 2—60
Schwingkontaktgleichrichter 1—128
Schwingkreis 2—61
Schwingregeleinrichtung 3—208
Schwingröhre 1—254
Schwingungserregung 1—143
Schwingungserzeuger 1—249
Schwingungsgenerator 1—249
Schwingungsgeschwindigkeit 2—60
Schwingungskreis 2—61
Schwingungsmesser 1—127
Schwingungsspektrum 1—211
Schwingungssynchronisation 3—347
Schwingungsvorgang 2—61
Schwingungszustand 2—62
Schwingvorgang 2—61
Schwingzustand 2—62
Sechselektrodenröhre 1—213
Sechspolröhre 1—213
sedezimales Zahlensystem 4—339
sekundäre Elektronenemission 1—165
Sekundärelektronenemission 1—165
Selbstabgleich von Sendern 3—136
selbstablaufendes System 3—293
selbstabstimmendes Modell von linearen Strecken 3—290
selbstabstimmendes (selbsteinstellendes) Modell 3—288
selbstabstimmendes System 3—292
selbstanpassendes System 3—293
Selbstausgleich 3—287
selbsterregter Schwingungserzeuger 1—9, 243
selbsterregte Schwingungen 1—10
Selbsterregungs-Unterdrückung 3—5
Selbsterregung von Schwingungen 3—287
selbstgeführter Wechselrichter 1—452
Selbstinduktionsspule 1—458
Selbstprogrammierung 1—16
Selbstschwingungen 1—9
Selbstschwingungsglied 1—10
Selbstschwingungszustand 1—10
selbstständige Entladung 3—298
selbststeuerende Schwingungen 1—9
selbstsynchronisierender Drehmelder 3—298
selbsttätige Kontrolle 2—95
selbsttätige Maß-Kontrolle 2—101
selbsttätige Regeleinrichtung (Regler) 3—206
selbsttätige Regelung 3—196
selbsttätiger Flüssigkeitsstandanzeiger 1—46
selbsttätiger Optimisator 2—442
selbsttätiger Wechselstrom-Kompensator 2—71
selbsttätige Scharfabstimmung 1—39
selbsttätige Suche 3—9
selbsttätige Wechselstrombrücke 2—332
Selbstüberwachungs-Stellglied 1—510
Selektion in der Fernwirktechnik 1—169, 436
Selektivität 1—439; 3—312
Selektivverstärker 4—193
Selen 3—313
semantische Identität 3—62
Semiotik 3—317
Senderöhre 1—254
Separatbetriebbedingungen 1—44
Serienstabilisierung 3—417
Shannon'sches Labyrinth 4—337
Shannon-Theoreme 4—338
Sichtbarmachung von Schallfeldern 1—129
Sichtspeicherröhre 3—58
Sichtverstärker 1—129
Siebenpolröhre 1—256
Siebung 4—262
Signal 3—319
Signal der äußeren Rückkopplung 1—270
Signaldifferentiation 1—362
Signaldifferenzieren 1—362
Signal-Hüllkurve 2—409
Signallampe 1—457
Signal-Magistrale 2—210
Signalraum 3—322
Signalwiedergabe 1—156
Silizium 2—133
Siliziumdiode 1—338
Siliziumkarbid 2—20
Siliziumstabilitron 3—421
Siliziumtransistor 4—71
Simplexmethode 3—323
sinusförmige Störung 3—346
Sinusgenerator 1—245
Sinusoszillator 1—245
Sinusschwingungen 1—210
Skalenfaktor 4—289
Skalenteilung 4—341
Skeptron 3—356
Skin-Effekt 3—356
Skottsches Filter 4—257
Solion 3—376
Sollwert 1—398
Sollwerteinsteller 1—398
Sollwertgeber 1—398
Sonnenbatterie 3—377
Sortiermaschine 3—383
spannungsabhängiger Kondensator 1—115
spannungsabhängiger Widerstand 1—116
Spannungsregeleinrichtung 3—214
Spannungsregler 3—58
Spannungsregler mit Magnetisierung 3—215
Spannungsteiler 1—305
Spannungs-unds Strom-Konstanthalter mit beweglichen Spulen 3—405
Spannungsuntersetzer 2—457
Spartransformator 1—44
Spartransformatorkopplung 1—45
Sparung der Arbeitszellen 4—353
Speicher 1—407; 2—360
Speicherabschnitt 1—430
Speicheranordnung 1—407
Speicherbelegung 3—162
Speicherbereich 1—430
Speichereinrichtung 1—407
Speichererneuerung 2—392
Speicherkapazität 1—394
speichernde Bildaufnahmeröhre 1—448
speichernde Kathodenstrahlröhre 1—404
Speicherröhre 1—404
Speicherungszone 1—430
Speicherwerk 1—407
Speicherwiederherstellung 2—392
Speicherzelle 3—189; 4—446
Speiseeinrichtung 2—506
Speiseleitung 4—244
Speiser 2—506

Speisetransformator 4—98
Spektralanalysator 1—67
Sperresonanz 1—92
Sperrfilter 4—248
Sperrkippsender 1—107
Sperrkreis 4—248
Sperrschicht 1—402
Sperrschwinger 1—107
Sperrschwingunivibrator 1—396
Spesystor 3—388
spezialisierte Digitalmaschine 3—395
spezifischer Widerstand 3—382
Spiegelungsaufbau 1—451
Spieltheorie 1—434
Spielwert 4—289
Spiratron 3—397
Spitzenspannungsmesser 2—500
Spitzentransformator 2—500
Spitzentransistor 4—75
Sprache der Nachrichtenbearbeitung 4—444
sprungförmige Störung 3—356
stabile Bewegung 4—216
Stabilisator der Koronaentladung 3—404
Stabilisator des Magnetstroms 3—404
Stabilisierung 3—415
Stabilisierung der Halbleiter-Oberfläche 3—27
Stabilisierungskoeffizient 3—414
Stabilisierungskreis 3—420
Stabilisierungsröhre 1—102
Stabilisierungssystem 3—414
Stabilität der Parameter von Halbleitergeräten 3—425
Stabilität der periodischen Bewegung 4—222
Stabilität der Regelungssysteme 4—220
Stabilität des Störeingriffs 4—222
Stabilitätsbedingungen 4—219
Stabilitätsbereich 4—218
Stabilitätsgrad 4—218
Stabilitätsgrenze 4—216
Stabilitätskriterium 4—217
Stabilitätsreserve 4—216
Stabilitätsreserve der Amplitude 4—217
Stabilitätsreserve der Phase 4—217
Stabilitätstheorie 4—219
Stadtnetzschutz 1—422
Stammoszillator 1—215
Standardbauelemente industrieller Druckluftautomatik 4—223
standardisierte Unterprogramme 3—8
Standard-Operator 2—414
Standardsignalgenerator 1—246
Standardzellen 4—447
Starkstromimpulsgenerator 1—221
Starkstromstoßgenerator 1—221
stationärer Betrieb 4—216
stationärer Prozeß 3—435
stationäre zufällige Einwirkung 3—435
statische Berechnung 3—434
statische Charakteristik 3—431
statische Charakteristiken und statische Parameter von Elektronenröhren 3—432
statische Genauigkeit 4—64
statische Kennwerte eines Transistors 4—82
statische Regeleinrichtung 3—227
statischer Fehler 3—431
statisches System 3—431
statistische Analyse von Systemen 3—427
statistische Bewertungen 3—425
statistische Kompensation 2—74
statistische Kontrolle 2—102
statistische Linearisierung 2—104
statistischer Suchbetrieb 3—15
statistische Synthese optimaler Systeme 3—337
stehende Welle 1—149
Stellglied für automatische Kontrolle 1—510
Stellgröße 3—206
Stellmotor 1—511, 513; 3—319
Steueraggregat 4—178
steuerbare Dämpfung 1—309
Steuerbarkeit 4—176
Steuerbefehl 4—186
Steuerdynamo-Ionenerregung 1—499
Steuergröße 4—186
steuernde Digitalrechner 4—179
Steuerorgan 2—452
Steueroszillator 1—215
Steuerpult 3—117
Steuerpult einer Ziffernmaschine 3—119
Steuersender 1—215
Steuertafel (Steuerungstafel) 1—272
Steuerung 4—149
Steuerung des elektrischen Getriebs mit Magnetverstärkern 2—233
Steuerung mit Informationsspeicherung 4—165
Steuerungseinrichtung 4—186
Steuerungsprogramm 3—96
Steuerventil 2—42
Steuerwerk 4—186
Stimmerkennung 3—152
Stochastisches Programmieren 3—436
Störabstand 2—462
Störbefreiung 3—45
Störgröße 1—148
Störschutzeinrichtungen 3—46
Störsicherheit 3—48
Störsicherheit bei Fernmessungen 3—51
Störsicherheit einer Fernmessung 3—51
Störstabilität 3—48
Störstabilität von Fernwirkanlagen 3—54
Störstellendiffusion in Halbleitern 1—365
Störung 1—148; 3—42
Stoßgenerator 1—216
Stoßionisation in Halbleitern 1—498
Stoßläppen mit Ultraschallfrequenz 4—130
Stoßoszillator 1—107
Stoßstirn 1—448
Strahlenelement 3—439
Strahlentechnik 3—438
Strahltetrode 2—208
Strahlungsfestigkeit 3—379
Strahlungsvakuummeter 1—114
Strategie (in der Theorie der Spiele) 3—437
Streckenvermaschung 3—385
Streukopplung 2—467
Strobierung 3—437
stromabhängiger Widerstand 1—116
Stromflußwinkel 4—112
Stromresonanz 1—92
Stromrichter 1—119
Stromrichterschutz 1—421
Stromstabilisator 3—413
Stromtorimpulsgeber 1—246
Stromverstärker 4—207
Struktur der Digitalregler 4—187
Struktur der Relaiseinrichtung 3—260
strukturelle Zuverlässigkeit 2—356
Strukturformel einer Relaiskette 3—444
Strukturmatrizen 3—444
Strukturschema 3—442
Strukturstabilität 4—223
stückweise lineare Kennlinie 2—142
stückweise unstetige Funktion 2—142
Stufentransformator 4—97
stufenweise Wirkung 3—444
Stützspannung 2—423
Suchgerät 3—15
Suchverlust 3—60
Suchzeit 1—162, 163
Summationskette 3—447
Summierung von Fernmessanzeigen 3—445
Superhet 3—447
Superleitung 3—307
Superpositionsprinzip 3—448
Symbolgruppe zur Bestimmung der Entladungszahl im Speicher 3—92
Symbolik der Rechenanlagen 1—103
symbolische Adresse 1—49; 3—322
Symmetrieschaltung 1—297
symmetrische Struktur 3—323
Synchrondetektor 1—315
synchrone Digitalmaschine 3—349
synchrone Relaiseinrichtung 3—265
Synchronisation 3—346
Synchronisation der Maschinenarbeit 3—348
Synchronverbindung 3—350
Synthese 3—325
Synthese optimaler Systeme 3—328
Synthese von Relaisanlagen 3—334
System der Fernwirktechnik 4—9
System der Fernwirktechnik für verteilte Anlagen 4—10
System der Funkfernmessung 3—140
System der minimalen Phase 2—293
System der Synchronverbindung 3—350
System «Mensch-Automat» 3—352
System-Modellierung mit der wirklichen Apparatur 2—313
Systemparameter 2—469

T

Tabelliermaschine 3—468
tabellierte Funktionsaufgabe 3—464
Tabsol 3—466
Tabulator 3—468
Tachodynamo 3—470
Tachogenerator 3—470
Tafelaufzeichnung 3—467
Tafel der Objektcharakteristik 3—461
Taktgeber 3—468
Taktgenerator 4—271
Tannenbaumkristalle 1—309
Tastbetrieb 1—450
Tastenrechenmaschine 1—186
Tastenrechner 1—186
Tauchkernspule 1—167
Taupunkt-Gasfeuchtemesser 1—136
technische Automatisierungsmittel 4—40
technische Kybernetik 3—36
technische Psychologie 3—112
Teilausführung in Kleinstbauweise 4—314
Teilchenladung im elektrischen Feld der Koronaentladung 1—416
Teilstrahlungspyrometer 2—501
Temperaturkontrolle der Induktionserwärmung 1—462
Temperaturmessung 4—18
Temperaturreglereinrichtung 3—228
Tensogeber 4—25
Tensometer 4—26
Testprogramm 4—39
Tetrode 4—39
Theorie der automatischen Steuerung 4—166
Theorie der Relaiseinrichtungen 3—272
Theorie der Relaiskontaktschaltungen 3—266
Theorie der selbsttätigen Regelung 3—201
Theorie der statistischen Lösungen 3—429
Theorie der Wahrsagung 3—63
Thermistor 4—32
Thermobatterie 4—29
thermochemischer Gasanalysator 1—202
Thermoeffekt 4—34
thermoelektrische Eigenschaften der Halbleiter 4—34
thermoelektrische Kühlung 4—36
thermoelektrischer Generator 4—35
thermoelektrischer Kühlschrank 4—35
Thermoelement 4—30
thermolonische Emission 4—29
Thermokraft 4—34
thermomagnetischer Gasanalysator 1—201
Thermoumformer 4—31
Thesaurus 3—473
Thyratronimpulserzeuger 1—246
Thyratron mit Glimmentladung 4—51
Thyristor 4—53
Tiefe der elektrostatischen Abschirmung 1—298
Tiefsttemperatur-Schaltgerät auf Halbleiterbasis 2—137
Tieftemperatur-Elemente 2—135
Tonfrequenzoszillator 1—215
Tongenerator 1—215
Ton- und Spracheerkennung 3—153
Torfresonator 3—241
Torschaltung 3—374
toter Gang 2—276
Totzeitwiedergabe 1—156
Totzone 1—430
Trägerfrequenz 2—384
trägheitsbehaftetes Glied 1—468
Transferanlage 1—35
Transfermaschinenstraße 1—35
Transfluxor 4—91
Transformator für induktive Erwärmung 4—94
transformatorischer Geber 1—289
Transformatorkopplung 4—101
Transformatorverstärker 4—199
Transistor 4—66
Transistor aus Mikrolegierung 4—73
Transistoren-Schaltbild 4—84
Transistorgenerator 1—237
Transistor mit Oberflächenschwellwerten 4—75
Transistoroszillator 1—237
Transistorparameter 4—77
Transistorrauschen 4—84
Transistorrauschen 4—346
Transistorumwandler 3—74
Transistorverstärker 4—197
Transitronoszillator 1—247
Transitronschaltung 1—247
Transportaufgabe 4—88
Transport (Übertragung) der Informationen in Standardspeicherzellen 1—171
trapezförmige Charakteristik 4—101
Treibergenerator 1—215
Trennfilter 4—253
Trennschärfe 1—439
Trennstufe 1—111
Trennungsvermögen 1—439
Treppensteuerungsprinzip 1—436
Trifttransistor 4—68
Trigger 4—103
Triggerkreis 3—397
Trimmer 4—103
Triode 4—104
Trochotron (Magnetfeldröhre für Zählschaltungen) 4—107
Trocknen 3—448
Tropenfestmachen einer Anlage 4—106
Trübungsmesser 3—385
Tunneldiode 1—342
Tunneldiodenverstärker 4—200
Tür 1—119
turbulente Drossel 1—384
Turing-Maschine 1—319
Turing'sche Maschine 4—109
Twistor 3—472
Tyratron mit Bogenentladung 4—46
typischer Einfluß 4—45
typische Wirkung (Einwirkung) 4—45

U

Übereinstimmende Belastung 3—374
Überfüllungszeichen 2—489
Übergangsbetrieb 2—384
Übergangsdiagramm 2—492
Übergangsfunktion 2—490
Übergangs-Gegenspannung 2—397
Übergangs-Gegenstrom 2—398
Übergangskennlinie 2—491
Übergangs-Rückstrom 2—398
Übergangs-Sperrspannung 2—397
Übergangstabelle 3—462
Übergangsverhaltenanalyse 1—63
Übergangsvorgang 2—491
Überholungsglied 2—422
Überholungskreis 2—422
Überholungsschleife 2—422
Überholungszweig 2—422
Überlagerer 1—259
Überlagerungsempfänger 3—447
Überlagerungsgenerator 1—259
Übernahme der wirklichen Adressen 3—93
Überregelung 2—489
Überschußdefektelektronen 1—441
Überschußelektronen 1—441
Überschußleerstellen 1—441
Überschwingsweiteeingriff 1—146
Übersetzungsverhältnis 4—101
Übersetzung von Ziffern aus einem Ziffernsystem ins andere 2—477
Übersichts-Fabrikationsschema 2—297
Übersichtsschema des Programmes 1—110
Überspannungen in Ventilanlagen 2—488
Übersprech-Störungen 3—44
Übertrag 1—417
Übertragerkopplung 1—45
Übertragungsfaktor 1—374
Übertragungsfunktion 2—478
Übertragungsverhalten 1—102
UHF—Filter 4—254
UHF—Transformator 4—99
UHF-Verstärker 4—206
Ultrahochfrequenzdiode 1—340
Ultrahochfrequenzdrossel 1—384
Ultrahochfrequenzgenerator 1—245
Ultrahochfrequenzverstärker 4—206
Ultrahöchstfrequenz-Generatorröhre 2—20
Ultraschall 4—115
Ultraschallabsorption 4—116
Ultraschallabsorptionsmessung 1—442
Ultraschallbearbeitung 4—130
Ultraschallconvergenzstrahler 4—268
Ultraschalldispersion 4—129
Ultraschalldruckmesser 4—128
Ultraschalldurchflußmesser 3—181
Ultraschallempfänger 3—91
Ultraschallemulgieren 4—132
Ultraschallentgasung 1—299
Ultraschallfelduntersuchung 1—520
Ultraschallgeber 1—441, 522
Ultraschallgeschwindigkeitsmessung 1—443
Ultraschall-Hochfrequenzmaschine 4—135
Ultraschallhohlleiter 1—152
Ultraschallimpulsgenerator 4—134
Ultraschallintensität 1—475
Ultraschall-Kavitation 2—6
Ultraschallkoagulation 4—121
Ultraschallkristallisation 4—122
Ultraschall-Lumineszenz 2—209
Ultraschallötung 4—124
Ultraschallpegelmesser 4—137
Ultraschallpfeife 4—141
Ultraschallprüfung 4—137
Ultraschallquelle 1—522
Ultraschallreinigung 4—122
Ultraschallröhrengenerator 4—138
Ultraschallschweißen 3—305
Ultraschallschwingungsmesser 4—135
Ultraschallsirene 4—125
Ultraschallstrahler 1—441
Ultraschalltechnologie 4—126
Ultraschalltrocknung 3—454
Ultraschallvernebelung 4—129
Ultraschallviskosimeter 1—131
Ultraschallwellenleiter 1—152
Ultraviolett-Absorptions-Analysengerät 1—203
Umform-Einrichtung für die Kopplung mit der wirklichen Apparatur 3—85
Umformer der Größendarstellung 3—69
Umformer-Empfindlichkeit 3—85
Umformergruppe 1—252
Umformungsstellheit 2—140
Umkehrstruktur 1—451
Umkehrstufe 1—451
Umkippungszeit 1—163
Umrichter 1—119
Umschalteinrichtung 2—484
Umschalter 2—67
Umschaltleitung 2—178
Umschaltmatrize 2—484
Umschaltzeit 1—164
Umschlagzeit 1—164
Umsetzer einer kontinuierlich veränderlichen Größe in einen Code 3—64
unabhängige Relaiseinrichtung 3—264
Unabhängigkeitsbedingungen 1—44
unbedingter Übergang 2—490
Unempfindlichkeit 2—385
Unempfindlichkeitszone 1—430
ungarische Methode 1—118
ungedämpfte Schwingungen 2—370
Ungleichförmigkeitsgrad 2—381
Ungleichheitsbereich 1—420
unipolarer Transistor 4—76
universale Algorithmensprache 2—260
universale Kontrollmaschine 2—105
universale Maschinensprache 2—260
universaler Algorithmus 1—59
universaler Vielpol 2—298
universeller Digitalrechner 4—144
Univibrator 2—411
unselbständige Entladung 2—382
Unstabilität 2—385
Unstabilität der Parameter von Halbleitergeräten 3—38
unstetige Regeleinrichtung 3—211, 222
Unterrichtskomplex 2—407
Untersuchung von Operationen 1—518
Unterwasserortungsgerät 1—265
Unterwasserschallempfänger 1—270
Unterwasserschallortungsgerät 1—265
Unveränderlichkeit 1—450
unzulässiger Wettbewerb 2—370

V

Vakuummesser 1—113
Vakuumphotozelle 1—115
Van de Graaff-Generator 1—249
Varicap 1—115
Variometer 1—116
Varistor 1—116
Ventil 1—119; 2—40
verallgemeinerte Koordinaten 2—114
verallgemeinertes Porträt 2—393
veränderliche Faktdauer 2—485
veränderliche Kapazität-Diode 1—115
veränderlicher Widerstand 3—380
veränderliches Dämpfungssystem 1—309
verarmte Schicht 2—392
Verbot 1—414
verbotener Zustand (eines Relaiskreises) 1—415
verbotenes Band 1—415
verbotenes Energieband 1—415
Verbotenheit 1—414
Verbund-Elektronenröhre 2—67
Verdopp(e)lung 1—388
Verdopp(e)lungsschaltung 1—296
Vereinigung der Maschinenoperationen 3—373
Verfahren mit Güteparametern 2—27
Vergleich 3—401
Vergleichsmaß 4—438
Vergleichsorgan 2—452
Vergleichsspannungsquelle 1—521
Vergleichsystem 3—402
Verhältnis der Laplacetransformierten Ausgangszeitfunktion zur Eingangszeitfunktion 2—478
Verhältnisdetektor 1—314
Verhältnisdiskriminator 1—314
Verhältnisgleichrichter 1—314
Verkettung der Kreise 3—383
Verriegelung 1—108
Verschiebung 3—371
Verschiebungsdichte 2—514
Verschiebungsregister 3—191
Verschlüsselung 2—52
Verschlüsselung in der Fernwirktechnik 2—53
Versetzung in Halbleitern 1—345
Verspätung 1—401
Verstärker-Betriebsarten 2—43
Verstärker mit verteilten Parametern 4—205
Verstärkerröhre 2—155
Verstärkerstufe 4—214
Verstärkungsfaktor 4—190
Verstärkungsstabilisierung 3—417
Verteiler 2—67; 3—163
Verteiler in fernwirktechnischen Anlagen 3—169
verteilte Anlagen 3—173
verteilte Induktivität 1—458
verteilte Kapazität 1—395
verteilter Parameter 2—469
Verteilungsfunktionanalysator 1—68
Verteilungstemperaturmesser 2—505
Vervielfacherdiode 1—343
verzögerter Rückkopplungsgenerator 1—242
Verzögerung 1—399, 401
Verzögerungsgerät 1—401
Verzögerungsglied 1—401
Verzögerungsleitung 2—176
Verzögerungsschaltung 1—400
Verzögerungswiedergabe 1—156
Verzögerungszeit 1—163
Verzugszeit 1—163
Vibrationslinearisierung 2—163
Vibrationsmesser 1—127
Vibrotron 1—129
Videofrequenz 1—129
Videoimpulsverstärker 4—192
Videosignal 1—129
Videoverstärker 1—129
Vidikon 1—129
Vieladressen-Maschine 2—298
Vieldeutigkeit der Relaischarakteristik 2—380
Vielfachkontrolle 2—98

Vielfachumleitungs-Fernübertragung 1—349
Vielkanalfernmeßsystem 3—484
Vielpolkopplung von Relaiskreisen 2—298
Vielstufen-Speichersystem 2—299
Vieltaktrelaiseinrichtung 3—265
Vierpol 4—325
vierschichtige Halbleiter 4—326
Vierschichtumschalter 2—483
vollautomatische Fabrik 1—397
vollbesetztes Energieband 1—404
vollständige Automatisierung 3—16
volumetrisch-manometrisches Gasanalysengerät 1—197
von Parametern abhängiger Operator 2—412
Voraussage 3-62
Vorgreifen 3—60
Vorhaltwirkung 1—146
Vorkapazität 1—393
Vorwähler 3—163
Vorzeichen der Überfüllung 2—489
Vorzeichen-Umadressierung 2—476

W

Wahrscheinlichkeit 1—125
Wahrscheinlichkeitsmaschine 1—122
Wahrscheinlichkeitsprozeß 1—122
Walter'sche Schildkröten 4—148
Wanderfeldröhre 2—145
Wanderfeldröhrengenerator 1—236
Wanderwellenröhrengenerator 1—236
Wärmebehandlung eines Halbleiters 4—30
Wärmedurchflußmesser 3—180
Wärmedurchschlag in Halbleitern 4—28
Wärmerelais 3—255
Wärmewiderstand 4—32
Wärmewiderstand der Halbleitergeräte 4—27
Wasserkraftmaschine 1—264, 267
Wasserkraftmaschine für Hin- und Herbewegung 1—270
Wechselstrom-Mikroantrieb 2—288
Wechselstromverstärker 4—201
weißes Rauschen 4—341
Wellenimpedanz 1—152
Wellenlänge 1—371
Wellenleiter 1—149
Wellenmesser 1—154
Wellenröhre 2—159
Wellenwiderstand 1—152
Wellrohr 3—322
Werkstoffabtragen durch anodenmechanisches Trennen 1—88
Werkstoffumformung auf elektrophysikalischem und elektrochemischem Wege 4—422
Wettkampf der Relaiselemente 3—273
Widerstandsgeber 1—283
Widerstandstemperaturmesser 4—29
Widerstandsverbindung 3—278
Widerstandsverstärker 3—278; 4—196
Wiedergabe 1—156
Wiedergabe der Fernmeßgröße 1—157
Wippgenerator 3—308
Wirbelstrommeßverfahren 1—444
wirksame Masse 2—248
Wirksamkeit der Informationsübertragung in der Fernwirktechnik 4—440
wissenschaftliche Forschungsbehörden 2—364
Wobbelauftastung 1—143
Wobbelfrequenzgenerator 1—227
Wobbelgenerator 1—227
Wort 3—364
Wortaufzeichnung im Befehlskode 1—403
Wortzusammensetzung 2—83

Z

zähe Reibung 1—194
Zähigkeitsmessung 1—132
Zahlenanzeigeröhre 2—157
Zählschaltung 3—455
Zahlung 2—509
Zählwerk des Digitalrechners 4—307
Zeichenerkennung 3—159
Zeichengeber 3—469
Zeitcharakteristik 1—162
Zeitdiagramm 1—159
Zeitdiskriminator 1—161
Zeitgeber 4—469
Zeit-Impuls-Fernmeßsystem 3—481
Zeitkonstante 3—57
Zeitmarken 2—278
Zeitmodulation 2—327
Zeitmultiplex-Fernwirksystem 4—13
Zeitrelais 3—248
Zeitstromwähler 1—162
Zeitverhalten 1—162
Zeitwählschaltung 1—162
Zener-Durchbruch 1—428
Zener-Durchschlag 1—428
Zenerscher Überschlag 1—428
zentralisierte Kontrolle 2—104
Zentralisierung automatischer Steuerungsvorgänge 4—289
Zentral-Steuerungsanlage einer Rechenanlage 4—171
zerlegbare electronische Röhre 2—152
Zerlegung des Phasenraums in Bereiche 3—141
zerstörungsfreie Materialprüfung mit Ultraschall 4—119
zerstörungsfreie Werkstoffprüfung mit Röntgenstrahlen 3—276
Zieherscheinung 1—418
Zielfunktion 4—286
Ziffern-Magistrale 2—210
Ziffernmantisse 2—247
Ziffern-Modelliergerät 2—318
Zonenschmelzverfahren 1—430
Zonentheorie (in Festkörpern) 1—431
Zufallgröße 3—366
zufälliger Einfluß 3—367
zufälliger Prozeß 3—367
zufällige (stochastische) Einwirkung 3—367
zufällige Störung 3—367
Zufallsgenerator 4—215
Zufallsgrößengeber 1—284
Zugriffszeit 1—162, 163
zu kontrollierende Größe 2—94
zulässiger Abweichungsbereich 2—461
zulässiger Wert 1—379
zulässiger Wettkampf (Wettbewerb) 1—379
Zündstiftgefäß 1—432
Zündstiftröhre 1—432
Zusammenfassungs-Methode 2—77
zusammengesetzte Welle 1—149
Zusatz-Code 2—49
zusätzliche Nichtlinearität 2—379
Zuschaltung eines Relais 3—263
Zustandsraum 3—109
Zustandstabelle 3—463
Zuteilwähler 3—163
Zuverlässigkeit 2—348
Zuverlässigkeit der elektronischen Apparatur 2—357
Zuverlässigkeit der Maschinen 2—353
Zuverlässigkeit von Fernwirksystemen 2—355
Zuverlässigkeit von Halbleitergeräten 2—354
Zweiadreß-(Parallel)-Maschine 1—297
Zweiadreß-Rechenmaschine 1—297
Zweielektrodenröhre 1—336
zweipolige Relaiskreisschaltung 1—297
Zweipolröhre 1—336
Zweipunktregeleinrichtung 3—210
Zweipunktregelung 3—199
Zweipunktrelaiselement 3—266
Zweitaktverstärker 4—193
Zwischenelement einer Relaiseinrichtung 3—108
Zwischenergebnisspeicher 1—413
Zwischenfrequenzfilter 4—253
Zwischenfrequenzverstärker 4—203
Zwischenspeicher 4—447
Zyklenzählwerke 4—290

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

КАК ПОЛЬЗОВАТЬСЯ УКАЗАТЕЛЕМ

В предметный указатель включены в качестве рубрик названия статей томов и термины, встречающиеся в тексте статей, где путем определения или как-нибудь иначе разъясняется их содержание или употребление.

В Указателе, при группировке материала, термины даны в виде подрубрик, причем первая подрубрика отделена от рубрики запятой, а последующая — знаком тире и начинается с новой строки. За рубрикой и подрубрикой следует номер тома и номер страницы. Номера страниц, на которых помещены статьи, выделены полужирным шрифтом и даны вначале. В Указателе применяется также инверсия (перестановка). Например:

в томе — Диод германиевый
в Указателе — Германиевый диод

В рубриках, состоящих из нескольких слов (сложных рубриках), при повторениях первое слово заменяется удлиненным тире. Например:

Датчик
—— времяимпульсный
—— давления жидкостный

Рубрики в необходимых случаях сопровождаются отсылками.

A

Аберрации электронооптических систем 4—377, 378, 389
Абсолютная весовая влажность 1—137
Абсолютная объемная влажность 1—137
Абсолютная температура 4—18
Абсорбционная оптическая спектроскопия 3—395
Абсорбционный спектральный анализ 3—395
Абстрактная теория автоматов 1—43
Абстрактный синтез релейных устройств 3—272, 335
Абстракция актуальной бесконечности 2—182
—— отождествления 2—182
—— потенциальной осуществимости 2—182; 4—110
Аварийная контролируемая величина 2—94
Аварийная наладка ЭЦМ 2—362
Аварийная разгрузка энергосистем автоматическая 4—163
Аварийная сигнализация 1—483; 3—321
Аварийная телесигнализация 4—12
Аварийный останов — см. Авост
Аварийный релейный элемент электрический 3—270
Авост 1—9; 2—107
Автогенератор — см. Генератор с самовозбуждением
Автодиспетчер 1—9
Автокод 3—98
Автоколебания 1—9; 2—493
— подавление 3—5
Автоколебания релейных систем, частотный метод анализа 4—322
Автоколебательная система 1—10
— демпфирование 1—308
Автоколебательное звено 1—10
Автоколебательный режим 1—10
Автокомпенсатор, нуль-орган 2—388
Автокорреляционная функция — см. Корреляционная функция
Автомат 1—10, 20
—— балансировочный 1—12
—— гидрокопировальный 1—12
—— для сборки шарикоподшипников 1—13
—— копировальный 1—11, 12; 3—200
—— металлообрабатывающий 1—11, 20; 4—182
— полиграфический 1—11
— сверлильный 1—12
— сортировочный 3—384
— телевизионный 3—476
— ткацкий 1—11
— торговый 1—11
— фрезерный 1—12
— шлифовальный 1—12
Автомат Мили 1—43
— Мура 1—43
Автоматизации технические средства 4—40
Автоматизация аэродинамического эксперимента 4—184
—— информационных работ — см. Научно-техническая информации обработка, Информационная машина
Автоматизация исследований режимов энергосистем 1—13
— расчетный стол 3—182
— средства исследований 1—14
— — математич. модели 1—14
— — применение быстродействующих ЦВМ 1—15
— — физич. модели 1—14
—— конверторного цеха 4—181
—— крупного цеха гальванопокрытий 4—182
—— металлургических объектов 4—180
Автоматизация программировании 1—16
— библиотека подпрограмм 1—103
— библиотечных подпрограмм метод 1—103
— интерпретации метод 1—476
— компиляции метод 2—77
— конкретизации стандартной подпрограммы 2—87
— программирующих программ метод 3—103
— циклы программ 4—292
Автоматизация проектировании машин — см. Синтез автоматический
—— —— ЭВМ 1—17
Автоматизации производства 1—20; 2—36
— диспетчеризация 1—346
— завод-автомат 1—397
— моделирование производственных процессов на ЦВМ 2—308
— программное управление 3—105
— профессиональная пригодность 3—110

— — — и управляющие цифровые машины 4—179
— — — комплексная 1—21; 2—82
— — — — — регулятор ограничивающий 3—221
— — — полная 3—16
— — — с помощью ИК лучей 1—496
— — процессов контроля сложных радиотехнических и других изделий 4—183
— — расчета монтажных схем ЭВМ 1—19
— — управленческих работ 1—26, 25; 2—454
— — химических, нефтеперегонных и других объектов с непрерывным характером технологического процесса 4—184
— — энергосистем диспетчерская 1—347
Автоматика 1—32
— — качества энергии в энергосистеме 4—164
— — надежности в энергосистеме 4—163
— — телевизионная 3—476
— — экономического распределения мощностей в энергосистеме 4—164
Автоматики фотоэлектрические элементы 4—277
Автоматическая аварийная разгрузка энергосистем 4—163
Автоматическая измерительная аппаратура состава и свойств веществ 3—385
Автоматическая линия 1—35, 22; 2—83
— — — комплексная 1—35; 2—83
— — — поточная 1—35
— — — роторная 3—280; 1—36
— — — специализированная 1—35
— — — специальная 1—35
— — — универсальная 1—35
Автоматическая подстройка радиопередатчиков — см. Радиопередатчиков автоматическая подстройка
— — — фазовая 4-225; 1—317
— — — частоты 1—39
— — — — с поиском 1—39
— — — — следящая 1—39
Автоматическая регистрация — см. Регистрация автоматическая
Автоматическая регулировка усиления 1—40
— — — — без обратной связи 1—40
— — — — с обратной связью 1—41
Автоматическая самосинхронизация 4—164
Автоматическая сигнализация 3—321
Автоматическая сортировка 3—384
Автоматические приборы 1—446
Автоматические цифровые измерительные приборы 4—309
Автоматический диспетчер — см. Автодиспетчер
Автоматический завод — см. Завод-автомат
Автоматический контроль — см. Контроль автоматический
Автоматический поиск 3—9
— системы 3—297
Автоматический регулятор — см. Регулятор автоматический
Автоматический синтез 3—326
Автоматический словарь 4—332
Автоматический уровнемер — см. Автур
Автоматический частотный пуск остановленных агрегатов гидроэлектростанции 4—164
Автоматического гомеостазиса система 3—295
Автоматического обучения система 3—295
Автоматического приспособления система — см. Самоприспосабливающаяся система
Автоматическое включение резерва 1—41; 4—164
Автоматическое измерение 1—442
Автоматическое повторное включение 1—41; 4—163
Автоматическое регулирование — см. Регулирование автоматическое
Автоматическое управление — см. Управление автоматическое
Автоматическое устройство 4—41
Автоматической адаптации система — см. Самоприспосабливающаяся система
Автоматической оптимизации система 3—297
— — — — для сушки 3—451
Автоматов теория 1—43; 2—35, 182
— — — абстрактная 1—43
— — — структурная 1—43
Автомашинист 4—157
Автономная система регулирования 3—201, 205
Автономное релейное устройство 3—264
Автономное управление летательными аппаратами 4—152
Автономности условия 1—44
Автопилот 4—155
— — астатический 4—155
— — с изодромной обратной связью 4—155
— — с магнитным усилителем 3—364
— — статический 4—155
Авторулевой 4—161
Автосин — см. Сельсин
Автотелеуправление — см. Телеуправление
Автотрансформатор — см. Трансформатор однообмоточный
— — подмагничиваемый 3—215
Автотрансформаторная связь 3—308 — см. также Трансформаторная связь
Автотрансформаторная связь, коэффициент связи 3—310
— — — индуктивная 1—458
Автотрансформаторы, защита 1—424
Автоэлектронная дуга 1—389
Автоэлектронная эмиссия 1—45
Автоэмиссионные микроскопы 1—45
Автоэмиттеры 1—45
Автур 1—46; 4—188
Агрегатная унифицированная система 1—46
Агрегатный принцип построения систем 1—46
Адалин Видроу 1—106
«Адалин» (схема на мемисторах) 2—276
Адаптации переходные процессы 3—294
— — процессы при непредвиденных изменениях в УУ 3—295
— — установившиеся процессы 3—295
Адаптивная бионическая машина 2—305
Адаптивная система — см. Самоприспосабливающаяся система
Адмитанц (импеданц) эквивалентный 1—48
Адрес 1—48; 2—62
— — внутренний 2—78
— — действительный — см. Адрес истинный
— — исполнительный 1—48; 2—476; 3—191; 4—174
— — истинный 1—48; 2—78; 3—93, 102
— — исходный 1—49
— — команд 1—48
— — короткий 3—440; 4—103
— — операндов 1—48
— — плавающий 1—49
— — постоянный 2—78
— — результатов операций 1—48
— — символический 3—322, 93; 1—48
— — условный 2—78
Адреса дешифратор 3—458; 4—174
— — код 2—49
— — модификация 2—62; 3—190
Адресация непрямая 2—203; 3—107, 440
— — прямая 2—203
— — цепная 3—98; 4—444
Адресная кодовая комбинация 2—48
Адресная магистраль 2—210
Адресная оперативная память 3—107
Адресная отсылочная таблица 3—107
Адресная передача информации в системах телемеханики 1—436; 3—50, 55
Адресная система ассоциативная 1—487
— — — номерная 1—487
— — — словарная 1—487
Адресная таблица 3—107
Адресная формула 1—50
Адресная функция 1—50
Адресная часть команд 1—49; 2—62, 63; 3—190, 440; 4—103
Адресность вычислительной машины 1—49; 2—63, 298; 3—440; 4—293
— выбор 4—302
Адресные системы ЗУ 1—487
Адресный алгоритм 1—50
Адресный регистр — см. Индексный регистр
Адресный сумматор 3—190; 4—174
Адресный язык 1—49
Азотирование при индукционном нагреве 4—283
Акваметрия 1—139
Аккордная защита 2—55
Аккумулятор (источник электропитания) 1—522
Аккумулятор — см. Сумматор накапливающего типа
— — гидравлический 1—259
Акселерометр 1—50; 4—135, 136
— — индукционный 1—51
— — максимальный 1—51
— — пьезоэлектрический 1—51
— — электрический 1—51
Аксиом схемы 2—186, 192
Аксиома 2—186
Аксиоматический метод 2—184
Актинометр 2—505
Актуальная бесконечность 2—182
Акустическая коагуляция — см. Ультразвуковая коагуляция
Акустическая система фокусирующая 4—268
Акустические единицы 2—527
Акустические сигналы информации 1—482
Акустический канал 2—11
Акцептор 1—51
Алгебра Буля 1—53
— — классов 1—53
— — логики 1—51; 2—185
— — — — логическая машина для решения задач А. л. 2—193
Алгебраические уравнения, корнеискатель 2—115
— методы решения 1—185
Алгол 1—56; 3—455; 4—292, 443, 446
Алгоритм 1—57; 2—35, 189; 4—110, 443
— зацепленность 3—395, 396
— логическая схема 2—199

— равносильность 3—130
— связность 3—395
— слово 3—364
— эквивалентность 1—59; 3—130
Алгоритм адресный 1—50
— — в смысле Тюринга 4—110
— — выполнения 1—58
— — — логической схемы 2—200
— — вычисления 3—246
— — декодирующий 3—130
— — кодирующий 3—130
— — минимизации 2—195
— — моделирующий производственный процесс на ЦВМ 2—308
— — моделирующий процессы обучения 2—39
— — мультипликативный 3—324
— — нормальные 2—386
— — обратной матрицы 3—324
— — оптимальный 2—37
— — позволяющий искать существенные смысловые характеристики текста 2—40
— — получения приближенных решений с известной степенью приближения к оптимальным 2—195
— — потенциальных функций 4—113
— — разделяющих плоскостей 4—113
— — расширенный 3—94
— — регулирования 3—197, 202
— — решающий 2—202, 415
— — симплексного метода прямой 3—324
— — сложения 3—246; 4—109
— — универсальный 1—59; 4—111
— — управляющего устройства 4—187
— — управляющий 1—32, 184; 2—95, 309; 3—97; 4—169
— — функционирования биологической системы 2—39
— — — релейного устройства 3—261
— — Эвклида 1—57
— — — в виде логической схемы 2—201
Алгоритмизация процесса 1—59
Алгоритмическая неразрешимость 1—59
Алгоритмическая обрабатывающая подпрограмма 3—97
Алгоритмические способы задания функций в машине 1—397
Алгоритмический метод получения случайных чисел 3—367
Алгоритмический процесс 4—443
Алгоритмический язык 4—443
Алгоритмов конструирование 1—59; 2—201
— включение 1—60
— объединение А. 1—59
— повторение 1—60
— построение разветвления 1—60
— — — цикла 1—60
— продолжение ветви 1—60
— произведение А. 1—59
Алгоритмов оптимальных синтез — см. Синтез оптимальных систем
Алгоритмы автоматических регуляторов по отклонению 3—207
— — информационно-логические 4—446
— — моделирующие процессы обучения 2—39
— — нормальные Маркова 2—386
— — обучения распознаванию 3—157
— — плановых расчетов 1—28
— — получения приближенных решений с известной степенью приближения к оптимальным 2—195
— — порождения фраз письменного языка 2—40
— — с неполной памятью 3—155
— — с полной памятью 3—155
— — симплексного метода 3—324
— — табличные 3—466
— — функционирования биологич. систем 2—39
— — челночные 4—323
— — численного анализа 4—446
— — эффективные 2—37
Алгорифм — см. Алгоритм
Алнико 2—228
Алфавит 1—60; 2—48
— предметное тождество слов 3—62
Алфавит входной 1—167
— — выходной 1—184
— — источника сообщений 1—521
— — канала входной 2—10
— — — выходной 2—10
— — m-символьный 1—440
— — формализованного языка 2—186
Алфавиты равнозначные 3—62
Алфер 2—238
Алькатрон — см. Транзистор униполярный
Альфатрон — см. Вакуумметр радиоактивный
Амплитрон 2—147, 156, 509; 4—207
Амплитуд огибающая — см. Огибающая сигнала
Амплитуда 1—60
— — шума квантования 2—30
Амплитудная избирательность 1—440
Амплитудная импульсная модуляция 2—327
Амплитудная фазовая характеристика 1—60, 331; 2—359; 4—319, 320
— — — апериодического звена 1—94
— — — колебательного звена 2—60
Амплитудная частотная характеристика 1—61, 331; 2—293; 4—319
— — — — логарифмическая 1—61; 4—320
Амплитудное искажение 1—61
Амплитудно-частотная коррекция 1—61
Амплитудные спектры 4—322
Амплитудные частотные искажения 1—505, 506; 2—173
Амплитудный анализатор 1—66
Амплитудный дискриминатор импульсов 1—62
Амплитудный модулятор 2—320
Амплитудный селектор 3—312
Амплитуды ограничитель 2—410
Анализ автоколебаний релейных систем, частотный метод 4—322
— — газов автоматический — см. Газа анализ
— — динамики систем управления или регулирования с применением АВМ 1—71
— — динамической точности при случайных воздействиях, частотный метод 4—320
— — — — при типовых воздействиях, частотный метод 4—320
— — информации, получаемой при использовании различных физиологических методик 2—269
— — конечных автоматов 2—87
— — корреляционный 2—128
— — линейных динамических систем статистический 3—427
— — морфологический при машинном переводе 2—258
— — нелинейных динамических систем статистический 3—428
— — опережающий 1—83
— — определения класса образов, распознаваемых данной системой 2—393
— — переключательных схем 1—55
— — переходных процессов 1—63
— — — — — частотный метод 4—320, 321
— — — — дискретных систем 1—64
— — — — линейных систем с переменными параметрами 1—64
— — — — линейных систем с постоянными параметрами 1—63
— — — — — — — — — — — — — — косвенными методами 1—64
— — — — — — — — — — — — — — на основе дискретных методов приближ. построения П. п. 1—63
— — — — — — — — — — — — — — на основе преобразования Лапласа 1—63
— — — — — нелинейных систем 1—64
— — — — — — — — — — интегрируемой аппроксимации методом 1—64
— — — — — — — — — — качественными методами 1—64
— — — — — — — — — — приближ. решений методами 1—64
— — проведения системы с аппаратурой управления или регулирования с применением АВМ 1—71
— — релейных схем с применением машин 2—194
— — релейных устройств 3—264, 271, 273
— — синтаксический при машинном переводе 2—259
— — систем автоматического управления 4—168
— — систем автоматич. управления статистический 4—59
— — систем с переменными параметрами, частотный метод 4—321
— — схем дискретного действия, использование аппарата алгебры логики 1—55
— — схем из пороговых элементов 2—192
— — точности динамических систем статистический 3—427
— — устойчивости импульсных систем с постоянными параметрами 1—66
— — — — линейных систем с постоянными параметрами 1—65
— Гурвица критерий 1—274, 65
— корневого годографа метод 2—115; 1—65
— Михайлова критерий 1—65; 2—296
— Найквиста критерий 2—359, 1—65
— Рауса критерий 3—184; 1—65
— — — — нелинейных систем с постоянными параметрами 1—65
— Ляпунова методом 2—209; 1—65
— первого приближения методом 1—65
— условий принципиальной устойчивости методом 1—65
— фазового пространства методом 1—65
— — — систем 1—65; 4—168
— — — — частотный метод 4—319

—— —— —— с переменными параметрами 1—66
—— —— —— —— —— —— Заде методом 1—66
—— —— —— —— —— —— Моисеева методом 1—66
—— целей и средств для их достижения 4—348
—— циклов структурной схемы программы 1—303
—— чувствительности 4—333
Анализа состава вещества автоматическая аппаратура — см. Состава и свойств веществ автоматическая измерительная аппаратура
Анализатор амплитудный 1—66
—— гармонический 1—210
—— дифференциальный цифровой 4—306
—— масс-спектрометра 2—251
—— плотностей распределения 1—480
—— полярографический 3—42
—— релейных схем 2—194
—— спектра 1—67
—— функций распределения 1—68, 480
—— Шеннона и Мура 2—194
Анализирующие грамматические модели 2—161
Аналитические приборы автоматические 3—385
Аналог цифровой 4—306
Аналогий метод решения конечных уравнений 1—87
Аналогия 1—447
Аналоговая вычислительная машина 1—70; 2—65
— ввод данных 1—117
— временные интервалы 1—79
— вывод данных 1—169
— интегрирующее устройство 1—473
— интегрирующий усилитель 1—93
— ключ электронный 2—44
— контроль набора задачи 2—98
— линия задержки 2—177
— логический элемент 2—208
— моделирование импульсных систем на АВМ 2—305
— —— систем с реальной аппаратурой 2—313
— наборное коммутационное поле 2—347
—— начальные условия 2—369
— нелинейный решающий элемент 2—380
— погрешности 1—79
— преобразователь функциональный диодный, использование 3—75
— —— —— электрополучевой 3—78
— применение(я) 1—80
— —— для анализа динамики систем управления или регулирования 1—71
— —— для контроля и управления 1—82
— —— для опережающего анализа 1—83
— —— для решения вариационных задач 1—83
— —— для решения дифференциальных уравнений 1—80, 75
— —— для решения задач по определению возмущений или полезных сигналов 1—71
— —— для решения задач синтеза систем управления и регулирования 1—71
— —— для решения задач статистической динамики 1—84
— —— для решения интегральных уравнений 1—85
— —— для решения конечных уравнений 1—86
— —— для экспериментального исследования поведения системы с аппаратурой управления или регулирования 1—71
— сумматор 3—445
— управление 1—87
Аналоговая вычислительная машина как интегратор гидравлический 1—470
—— —— —— как моделирующее пневматическое устройство 2—317
—— —— —— работающая в натуральном масштабе времени 1—75
—— —— —— с многократным использованием элементов 1—76
—— —— —— с параллельными каналами — см. Комбинированная вычислительная машина
—— —— —— с повторением решения 1—78
Аналоговая вычислительная техника 1—187
Аналоговая регистрация показаний при телеизмерении 3—196
Аналоговое вычислительное устройство 1—189
Аналоговое интегрирующее устройство 1—473
Аналоговое масштабирование 2—252
Аналоговый коррелометр 2—124
Аналого-цифровая вычислительная машина — см. Комбинированная вычислительная машина
Аналого-цифровой преобразователь 3—69; 4—309, 310
—— —— с динамической компенсацией 3—70
—— —— с поразрядным опросом 3—71
—— —— с реверсивной следящей системой 3—71
Анемометр 4—32
—— ионизационный 3—177
Анодная нагрузка 1—88
Анодная светящаяся пленка тлеющего разряда 4—56
Анодная характеристика электронных ламп 3—432
Анодное ограничение амплитуды (напряжения) 2—411
Анодно-механическая обработка 1—88
Анодно-сеточная характеристика электронных ламп 3—432
—— —— —— —— динамическая 1—329
Анодный повторитель 1—89
Ансамбль сообщений 1—89
Антенна 1—90
— действующая высота 1—90
— действующая площадь 1—90
— диаграмма направленности 1—90
— заземление 1—399
— коэфф. полезного действия 1—90
— —— усиления 1—90
— сопротивление излучения 3—379
Антенна Г-образная 1—90
—— диэлектрическая 1—92
—— зонтичная 1—92
—— крестообразная 1—91
—— линзовая 1—91
—— надувная 1—92
—— направленная 1—91
—— параболическая 1—91
—— рамочная 1—90
—— рупорная 1—91
—— синфазная 1—91
—— телевизионная 1—91
—— телескопическая 1—92
—— типа «волновой канал» 1—91
—— Т-образная 1—90
—— щелевая 1—92
Антенное поле 1—90
Антизапорный слой 2—92, 93
Антимониды 3—31
Антирезонанс 1—92
Антисегнетоэлектрики 1—92
Антисовпадений схема 1—92
Апериодические системы 1—93
Апериодические цепи — см. Апериодические системы
Апериодический режим 1—93
Апериодическое звено 1—93
— нарастания время 2—362
— постоянная времени 3—57
Аппаратурно-логический контроль ЦВМ 2—104
Аппаратурный метод получения случайных чисел 3—370
Аппликационная регистрация 3—192
Аппроксимации интегрируемой метод 1—64
Аппроксимации метод 1—94
Аппроксимация динамических характеристик объекта 3—291
—— функций 1—185
Аппроксимирующих многочленов способ задания функций в машине 1—398
Арифметическая операция 1—94
Арифметическая проверка программы 2—461
Арифметические функции 3—246
Арифметическое устройство 1—95
— запись команд и чисел комбинированная 1—402
— испытательная программа 1—516
— принципы построения и состав 1—96
— регистр сдвига 3—191
—— —— кодово-позиционное 1—95
—— —— многорегистровое 2—298
—— —— накапливающее 1—95
Арифмометр 1—186
Аркотрон 2—139
Арсениды 3—31
Асимптотические методы 1—97; 2—475
Асинхронная вычислительная машина, цифровая 1—98; 4—171, 175, 271
— временная диаграмма работы 1—160
Асинхронный вентильный каскад 2—22
Асинхронный машинный преобразователь частоты 3—81
Асинхронный сумматор цифровой 4—308
АСОР 4—312
Ассиметрия распределения измеряемой величины 4—330
Ассоциативная адресная система 1—487
Ассоциативная информация 3—99
Ассоциативная память 3—99, 396
Ассоциативное программирование 3—98
Ассоциативные системы 3—98
Ассоциативные узлы 3—100
Ассоциативные элементы персептрона 4—114
Астатизм n-го порядка 1—98
Астатическая система 1—99; 3—197
— качества показатели 2—27
—— —— стабилизации 3—414
Астатический закон регулирования 3—202
Астатический объект 2—374
Астатический прибор 1—99
Астатический регулятор 3—207
Астатическое регулирование 3—207
Астигматизм 4—378, 379
Астоново темное пространство тлеющего разряда 4—56
«Атлас» (вычислит. система) 4—298
Атмосферные шумы 4—346
Атомная батарея 1—523
Атомные часы 1—100, 3—420
Атомные эталоны частоты 1—99; 3—420
Атомный резонанс цезия 3—420
Аттенюатор 1—100

Б

База системы счисления 3—8
Базисная система 3—365
Балансировочный автомат 1—12
Балансные схемы 1—101; 4—202
Балансный модулятор 2—320; 4—203
Балансный преобразователь — см. Преобразователь телеизмерительный с обратной связью
Баллистический гальванометр 1—102
Баллистический метод 1—102
Баллистокардиография 2—265
Бареттер — см. Стабилизатор тока
Барометр 2—244
Барьерная сетка 1—404
Безадресная структура команд 3—440
Безотказность изделия 2—348
Безразличное состояние релейного устройства 1—102
Бейесовы критерии 2—429, 437; 3—430
Бел (ед. динамич. диапазона) 1—332; 2—179
Бесконтактные схемы управления электроприводами на логических элементах 1—102
Бестоковая пауза 1—42
Бетатрон 3—276, 277; 4—375
БЗУ — см. Запоминающее устройство буферное
Биаксы 1—411, 412, 414; 3—459; 4—246, 247
Библиотека подпрограмм 1—103, 17; 3—8, 98
—— стандартных подпрограмм 1—103
Библиотечных подпрограмм метод 1—103, 17; 3—98
— автоматизация 1—104
— вызова способ 1—104
— обращений способ 1—104
— объединения способ 1—103
Биения 1—104
— частота 1—154
Биения нулевые 1—105, 155
Биметаллические измерители 3—228
Биметаллические цепи 2—174
Биметаллический контакт 2—91
Биметаллическое реле 3—256
—— —— времени 3—249
Биморфные пьезоэлементы 3—123
Бинарный код, исправляющий одиночные ошибки 1—485
Бинистор 4—328
Биномиальная система кодирования 2—49
Биологическая система, адаптация 3—295
— модель как конечный автомат 2—86
— обратная связь 2—396
Биологическая система регуляционная 2—397
—— —— самоорганизующаяся 3—293
—— —— самоприспосабливающаяся 3—298
Биологические системы и кибернетика 2—39
Биологические управляющие системы 4—149
Бионика 1—105
Бионическое моделирование 2—304
Биоэлектрический потенциал 2—261
Ближний порядок 2—138
Близости эффект 2—174; 4—95
Блок (в алголе) 1—57
—— выработки адресов команд 4—174
—— —— исполнительных адресов 4—174
—— задержки — см. Запаздывания блок
—— запоминающего устройства для выборки числа 1—409
—— —— —— для записи 1—409
—— —— —— для местного управления 1—409
—— —— —— для считывания 1—409
—— —— —— накопительный 1—409
—— индексных регистров 4—174
—— сопряжения с пультом управления 4—174
—— стандартный 1—107
—— чистого запаздывания — см. Запаздывания блок
—— ячеек 2—196
Блокинг-генератор 1—107
— синхронизация колебаний 3—348
Блокинг-генератор ждущий 1—396
Блокировка 1—108
—— реле 1—108
—— электроприводов 1—108
Блок-контакт 1—109
Блок-контактор 1—109
Блок-схема вычислительной машины 1—109
—— программы 1—110; 2—415
Блочное программирование 2—255
Блочный анализатор релейных схем 2—194
Боковые колебания 2—324
Болометр германиевый 1—111
—— оксидный 1—111
—— полупроводниковый 1—110
—— сурьмяный 1—111
Болометрический радиационный пирометр 2—504
Большие системы 3—365; 4—160
Брауна метод 2—172
Бриллюэна зоны 1—431
Бриллюэна негэнтропийный принцип 4—437
Буквы в теории алгоритмов 3—364
—— на входе канала 2—10
—— на выходе канала 2—10
—— предикатные 2—188
—— пропозициональные 2—187
Булгакова кривая 2—361
Булева алгебра 1—53
—— функции — см. Логическая функция
Булево дерево 3—444
Бурдона трубка — см. Манометр с трубчатой пружиной
Буферная ступень — см. Буферный каскад
Буферный каскад 1—111
Буферный промежуточный накопитель — см. Запоминающее устройство буферное
Быстродействие в вычислительных машинах — см. —Цифровая вычислительная машина
—— в системах автоматического регулирования и управления — см. Оптимальное управление
—— запоминающего устройства 1—408
—— —— —— буферного 1—411
—— —— —— внешнего 1—412
—— —— —— оперативного 1—414
—— систем ТУ—ТС 1—111
Быстродействующий выключатель 1—421
Быстрые энергетические состояния 3—39
Бьеркнеса силы 1—299

В

Вакуумметр 1—113; 2—244; 4—32
—— вязкостный 1—113
—— гидравлический 1—113
—— ионизационный 1—113
—— Кнудсена — см. Вакуумметр радиометрический
—— магнитоэлектроразрядный 1—114, 113
—— механический деформационный 1—113
—— радиоактивный 1—114, 113
—— радиометрический 1—114
—— теплоэлектрический 1—113
Вакуумный фотоэлемент — см. Фотоэлемент с внешним фотоэффектом
Валентная зона 2—249; 3—244
«Вал — цифра» преобразователи 1—349
Вариации объемов производства метод 3—145
Вариационные задачи, решение с помощью АВМ 1—83
Вариация показания прибора 1—115
Варикапа 1—115; 2—398
Вариконд 1—115
Вариометр 1—116
Варистор 1—116
Ввод данных в АВМ 1—117
—— —— в ЦВМ 1—117
—— дистанционный 1—360
—— переменных коэффициентов 1—118
—— текста в машину 2—257
Ввода программа 3—96
Вебба функция 2—191
Вектолит 2—228
Векторбаллистокардиограмма 2—269
Векторэлектрокардиограмма 2—269
Велосиметр 4—135
Венгерский метод 1—118
Венна диаграммы 1—53
Вентиль (в вычислит. технике) 1—119, 193
Вентиль германиевый 3—34
—— «и» — см. Совпадений схема
—— «или» — см. Собирательная схема
—— ионный 1—502
—— кремниевый 3—34
—— купроксный — см. Вентиль меднозакисный
—— меднозакисный 3—33
—— несовпадения 1—415
—— полупроводниковый 3—33
—— ртутный 3—282; 1—421, 502; 4—233
—— селеновый 3—33
—— совпадения — см. Вентиль (в вычислит. технике)
—— электрический 1—119, 175
Вентильная обмотка 4—92
Вентильные установки, перенапряжения 2—488
Вентильный асинхронный каскад 2—22
Вентильный преобразователь 1—119; 3—284
— высшие гармонические в В. п. 1—182
— защита 1—421
— реактивная мощность 3—186
— фазосдвигающие устройства 4—233
Вентильный преобразователь германиевый 1—422
—— —— ионный 1—119
—— —— кремниевый 1—422
—— —— полупроводниковый 1—120
—— —— частоты 1—120
—— —— электронный 1—119
Вентиляторы для охлаждения электронных устройств 2—358
Вероятная ошибка 3—5
Вероятностей теории основные понятия — см. Вероятность
Вероятностная избирательность 1—440
Вероятностная машина 1—122; 3—157
—— —— марковская 1—122
Вероятностный процесс 1—122

— корреляция 2—127
— спектр энергетический 3—388
Вероятностный процесс дискретный 1—123
—— —— импульсный 1—124
—— —— некогерентный 2—127
—— —— непрерывный 1—123
—— —— нестационарный 1—124
—— —— нормальный 1—124
—— —— со стационарными приращениями 1—124
—— —— стационарный 1—124
—— —— эргодический 1—124; 2—128
Вероятность 1—125
— свойства 1—125
— стабилизации способы 1—287
Вероятность ложной тревоги 3—48, 88
—— ошибки в системе как критерий ее помехоустойчивости 3—48
—— пропуска сигнала 3—48, 88
Вертикальный принцип фазового управления 4—235
Весовая функция — см. Импульсная переходная функция
Весовой плотномер 2—513
Весовые дозаторы автоматические 2—507
Весоизмерительные приборы 2—42
Весоизмерительный динамометр 1—335
Весы входов 2—193
—— непрерывного действия автоматич. 1—127
—— порционные автоматич. 1—127
—— с автоматич. уравновешиванием 1—126
—— с дистанц. передачей и регистрацией показаний 1—126
—— сортировочные автоматич. 1—127
Взаимоиндуктивность 1—458
Взаимосопряженная пара — см. Двойственная пара
Взвешивание автоматическое 1—126
ВЗУ — см. Запоминающее устройство внешнее
Вибратор 1—128
—— Ланжевена 3—124
—— полуволновой 1—91
—— пьезоэлектрический 3—124
Вибродатчики 1—282; 4—136, 137
Виброинвертор 1—128
Виброметр 1—127
—— пьезоэлектрический 3—124
—— ультразвуковой — см. Ультразвуковой измеритель вибраций
Вибропреобразователь 1—128
—— контактный 1—167
Вибротрон — см. Механотрон
Виброшумы приемно-усилительных ламп 2—152
Видемана эффект 3—472
Видеодетектор 1—341; 4—266
Видеоимпульс — см. Видеосигнал
Видеоприемное устройство 3—475, 476
Видеосигнал 1—129, 450; 3—475
Видеоусилитель 1—129; 3—475
Видеочастоты 1—129
Видикон 2—464
Видикон 1—129; 2—482; 3—475; 4—392
«Видящий» автомат 3—477
Визуализация звуковых полей 1—129; 4—268
Визуальная гамма-дефектоскопия 1—209
Визуальные символы информации 1—482
Визуальные системы прикладного телевидения 3—475
Визуальный индикатор настройки — см. Индикаторная лампа
«Вилки» метод решения игр 2—172
Виртуальная память 3—107, 373
Вискозиметр Геплера 1—133
—— истечения 1—130
—— —— капиллярный 1—130
—— —— эффузионный 1—130
—— ротационный 1—131
—— ультразвуковой 1—131
Вискозиметрия 1—132
Вискозиметры 1—133
Вихревые токи, измерения возбуждением 1—444
Вихревых токов метод дефектоскопии 1—321, 444
—— —— тепловое действие 1—463
Вкладыш — см. Массив команд вложенный
Включение (в конструировании алгоритмов) 1—60
Влагомер газов гигроскопический дилатометрический 1—133
—— —— —— —— волосной 1—133
—— —— —— —— мембранный 1—133
—— —— —— электрохимический 1—134
—— —— —— —— амперометрический 1—135
—— —— —— —— кондуктометрический 1—134
—— —— —— —— кулонометрический 1—135
—— —— —— —— температурно-равновесный 1—134
—— —— —— —— электролитический 1—134
—— —— конденсационный манометрический 1—137
—— —— по точке росы — см. Влагомер газов температурно-конденсационный
—— —— температурно-конденсационный 1—135
—— —— —— — измерение температуры зеркала 1—136
—— —— —— — нагревание зеркала 1—136
—— —— —— — обнаружение появления и исчезновения на зеркале конденсата 1—136
—— —— —— — охлаждение зеркала 1—136
Влагомеры для жидкостей 1—139
Влажности газов измерение 1—137
—— —— —— — методы, основанные на непосредственном измерении физич. свойств влажного газа 1—138
—— —— —— —— —— основанные на полной конденсации водяного пара 1—137
—— —— —— —— —— основанные на термодинамич. свойствах, характеризуемых диаграммой «давление — температура» для водяного пара 1—138
— психрометр 3—116
Влажности жидкостей измерение 1—139
—— —— —— — методы выделительные 1—139
—— —— —— — —— испарительные 1—139
—— —— —— — —— равновесные 1—139
—— —— —— — —— физические 1—139
—— —— —— — —— химические 1—139
—— твердых тел измерение 1—140
—— —— —— —— — методы радиоизотопные 1—141
—— —— —— —— электрическое 1—140
Влажность абсолютная 1—137
—— относительная 1—137
Внешние помехи 3—42
Внешний накопитель — см. Запоминающее устройство внешнее
Внешний фотоэффект 1—141; 4—379, 380
Внутреннее сопротивление лампы 3—434
Внутреннее состояние релейного устройства 3—263
—— —— —— —— неустойчивое 2—384
Внутренние помехи 3—42
Внутренний фотоэффект 1—142; 4—275
Вобуляция — см. Модуляция частотная
Возбуждение колебаний — см. Генератор с самовозбуждением, Генератор с независимым возбуждением
Возбуждения система 1—143
Возврат релейного элемента 3—268
Возврата реле коэффициент 1—146; 3—268
Воздействие 1—146
—— возмущающее 1—148, 99; 3—367
—— гармоническое 1—212
—— единичное ступенчатое 1—392
—— задающее 1—397
—— импульсное 1—449
—— ограниченное по модулю 2—410
—— по нагрузке 1—146
—— по отклонению 1—146
—— по производной 1—146
—— —— —— — предварение 3—60
—— поисковое 4—357, 359, 360
—— пробное — см. Воздействие поисковое
—— регулирующее 3—206, 205
—— случайное 3—367
—— ступенчатое 3—444
—— типовое 4—45
—— управляющее 4—186, 166; 1—99; 3—367
Воздухоподготовка для пневматических устройств 1—147
Воздухораспределитель — см. Распределитель сжатого воздуха
Воздушная линия 2—14, 174
— автоматич. повторное включение 1—42
— волна бегущая 1—149
Воздушная линия двухпроводная 1—297
Возможное действие 3—102
Возможные движения системы 3—436
Возможные состояния (в теории статистич. решений) 3—429
Возможных направлений методы 1—181
Возмущающее воздействие 1—148, 99, 146; 3—367
Возмущение 1—148
— накопление 2—361
Возмущенное движение 1—148; 4—220
— устойчивость 4—222; 2—209
Возмущенное состояние 1—149
Вокалиграмма 3—153
Вокалископия — см. Распознавание голоса
Волна бегущая 1—149
——поверхностная, использование в волноводе 1—151
—— стоячая 1—149; 3—237
Волновод 1—149; 2—9
— диэлектрический нагрев в В. 1—368
Волновод металлический 1—149
—— с поверхностной волной 1—151
—— ультразвуковой 1—152
Волноводный приемник ультразвука 3—91
Волноводный фазовращатель 4—228
Волноводный фидер 4—244
Волноводный фильтр 1—151
—— —— сверхвысоких частот 4—255
—— —— типов волн 4—257
Волновое сопротивление 1—152; 2—175
—— —— в теории электромагнитного поля 1—154
—— —— в электрич. линиях 1—152
—— —— длинной линии 1—371, 372

—— —— кабеля 2—5
—— —— коаксиальной линии 2—46
—— —— среды 1—475
Волновой пакет 4—133
Волновые матрицы четырехполюсника 4—326
Волномер 1—154; 4—323
—— гетеродинный 1—154
—— резонансный 1—154
Волны основной тип 1—150
Волны поперечные 1—149
—— простейшие 1—150
—— ультразвуковой скорости 4—132
Волосяная оптика — см. Оптика волоконная
Вольтметр диодный 1—343
—— ламповый 2—159, 500
—— электроннолучевой 1—170
Воспринимающий орган 1—155; 3—267
—— —— датчика 1—276
Воспринимающий элемент релейного устройства 1—156; 3—271
Воспроизведение 1—156
—— запаздывания — см. Запаздывания блок
—— сигналов в системах ТУ—ТС 1—156
—— телеизмеряемой величины 1—157; 3—482, 483, 486
—— —— —— аналоговое 1—157
—— —— —— цифровое 1—157
Воспроизводящая магнитная головка 2—214
Восстанавливаемые изделия 2—349
Восстановитель постоянной составляющей 1—158
Восстановительная операция 4—444
Восстановление команд в программах 1—158
Восьмеричная система счисления 1—159
В-регистры 2—299
Временная диаграмма работы ЭВМ 1—159; 4—271
Временная модуляция 2—327
Временное разделение каналов 1—161, 440; 2—326; 3—143, 484; 4—13
Временное совпадение двух сигналов 3—374
Временной дискриминатор 1—161
Временной селектор 1—162, 119
— совпадений схема 3—374
Временные характеристики 1—162
— переходная функция 2—490
— —— —— импульсная 1—448
Временных логических функций метод синтеза релейных устройств 3—335
Время безотказной работы изделия 2—350
—— —— —— машины среднее 4—304
—— включения 1—164
—— восстановления изделия 2—350
—— —— машины при возникновении отказа среднее 4—304
—— выборки 1—162, 163
—— —— запоминающих элементов 4—246
—— —— информации, среднее 1—162
—— выключения 1—164
—— выполнения операции 3—358
—— дешифрации заданного адреса 1—163
—— диффузии носителей заряда 1—162
—— жизни носителей заряда 1—162; 3—26
—— —— —— —— — плотность дислокации, зависимость 2—514
—— задержки 1—163; 2—176, 178
—— запаздывания 1—401, 506; 2—514
—— затухания — см. Время регулирования
—— изодрома 1—446
—— корреляции 2—128
—— на запись новой информации 1—163
—— на регенерацию прочитанных данных 1—163
—— на стирание информации 1—163
—— на считывание информации 1—163
—— нарастания 2—362; 1—506
—— обращения запоминающих элементов 4—247
—— —— к ЗУ 1—163; 4—293
—— опрокидывания 1—163
—— отпускания релейного элемента 3—268
—— переключения 1—164; 4—87
—— —— схемы совпадений 3—374
—— перехода — см. Время опрокидывания
—— перехода релейного элемента 3—268
—— переходного процесса — см. Время регулирования
—— поиска ячейки ЗУ 1-163
—— полувыравнивания 3—287
—— послесвечения 3—89
—— пролета носителей заряда (тока) в ПП приборе 1—165
—— прохождения шкалы 4—341
—— разгона 3—287
—— разделения родственных языков минимальное 2—162
—— разрешающее счетчика цифровой машины 4—307
—— рассасывания 4—88
—— регулирования 3—202, 402; 2—26
—— релаксации — см. Время опрокидывания
—— рефрактерности 2—94, 370, 372
—— самовыравнивания 3—288
—— спада (в импульсной технике) 1—506
—— срабатывания релейного элемента 3—263, 268
—— стирания информации в ЦВМ 3—436
—— считывания 3—460, 458
—— успокоения 4—215
—— установления (в импульсной технике) 1—506; 4—209
—— установления — см. Время регулирования
—— —— показаний телеизмерительной системы 1—165
—— —— счетчика цифровой машины 4—307
Время-импульсное множительно-делительное устройство — см. Перемножающее устройство
Времяимпульсный датчик 1—277
Вторичная эмиссия 1—165; 3—148; 4—264, 379
Вторичные электроны 1—165
Вторичный прибор 1—166
Второстепенный вход 1—167
Втягивающая катушка 1—167
Вход 1—167
—— в цикл программы 4—291
—— —— —— структурной схемы программы 1—303
—— основной 2—457
Входная величина 1—167
— инвертор пневматический 1—456
Входная величина непрерывная, преобразователь В. в. н. в код 3—64
Входная контролируемая величина 2—94
Входная координата 2—114
Входная последовательность 3—57, 261, 372
Входная релейная цепь 3—260
Входное сопротивление 3—379
—— —— длинной линии 1—372
Входное устройство 1—167
Входной алфавит 1—167
—— —— канала 2—10
Входной кортеж комплекса 2—79
—— —— оператора логической схемы 2—413
Входной преобразователь для решающих (операционных) усилителей 1—167
—— —— бесконтактный 1—168
—— —— контактный 1—167
Входной сигнал 1—169
— полезная составляющая 3—16
Входной язык программирующей программы 3—101
Входные буквы канала 2—10
Входных ячеек выделение 1—304
Входящий поток требований 2—249
Вхождение одного слова в другое 2—83
Выбег частоты 3—418
Выбор значений функции из таблицы 3—464
—— объекта — см. Избирание в телемеханике
Выбора проблема 2—171
Выборка 3—425, 430
Выборки из таблиц метод получения случайных чисел 3—367, 370
Выборки числа блок 1—409
Выборочная дисперсия 3—426
Выборочная приемка продукции 2—102
Выборочное значение 3—425, 429
Выборочное среднее 3—426
Выброс напряжения 1—506
Вывод данных из АВМ 1—169
—— —— из ЦВМ 1—170
Вывода правила (в логике) 2—186, 192
Выделение входных и выходных ячеек 1—304
—— равновероятных парных комбинаций 1—287
—— сигнала из шума 1—171, 485; 2—129, 305, 428; 3—86
—— циклов структурной схемы программы 1—303
Вызова подпрограмм способ 1—104
Выключатель 1—171
—— быстродействующий 1—421
—— концевой 1—171
—— пакетный 1—171
—— путевой — см. Выключатель концевой
Вынос величин в стандартные ячейки 1—171
Вынужденная составляющая 1—172; 4—216
Вынужденные колебания 1—172
—— —— связанные 3—308
Выполнение алгоритма 1—58
—— комплекса 2—79
—— логической схемы 2—200
—— формулы 2—79
Выпрямитель 1—172, 119, 523
— реактивная мощность 3—186
Выпрямитель кенотронный 2—33; 1—172
—— контактный 1—172
—— однофазного тока 1—173
—— полупроводниковый 3—35; 1—172
—— ртутный 3—284; 1—119, 172
—— тока электрохимический 3—85
—— трехфазного тока 1—176
—— —— —— — трехфазная двухтактная (мостовая) схема 1—176
—— —— —— — трехфазная однотактная схема выпрямления 1—176
—— —— —— — шестифазная однотактная схема с уравнит. реактором 1—177
—— управляемый 4—177

— — — — фазосдвигающие устройства 4—233
— — фазочувствительный 1—177, 317
Выпрямительный диод 2—151
Выпрямительный измерительный прибор 1—179
Выпрямительный трансформатор 4—92; 1—175
Выпрямляющий контакт 2—91
Выпуклое программирование 1—179; 2—255, 378
— задачи, укладывающиеся в модель В. п. 1—180
— итеративные методы 1—181
— конечные методы 1—181
— критерий оптимальности задачи В. п. 1—180
— совмещение методов В. п. со случайным поиском 2—378
Выращивание дендритных лент 1—309
— — кристаллов эпитаксиальное 2—329, 510
— — монокристаллов по Чохральскому 1—181
— — — — способом зонной плавки 1—430
Вырожденная частота 3—242
Вырожденная ячейка релейного устройства 1—523
Высказывание в логике 1—51; 3—61
Высокочастотная установка для индукционного нагрева — см. Генератор ламповый
Высокочастотные пачки — см. Импульсный сигнал
Высшие гармонические в вентильных преобразователях 1—182
Выход 1—183
— — из цикла программы 4—291
— — — — — структурной схемы программы 1—303
Выходная величина 1—183
— нарастания время 2—362
— потеря на поиск 3—60
Выходная контролируемая величина 2—94
Выходная ось 1—183
Выходная последовательность 3—57, 261
Выходная релейная цепь 3—260
Выходное устройство 1—183
Выходной алфавит 1—184
— — — — канала 2—10
Выходной кортеж комплекса 2—79
— — — — оператора логической схемы 2—413
Выходной прибор телеизмерения 1—184
Выходной сигнал — см. Выходная величина
Выходные буквы канала 2—10
Выходных ячеек выделение 1—304
Вычетов Лемера метод 3—112
Вычисление n-мерного интеграла 2—331
Вычислимая функция по Тьюрингу 4—110
Вычислимые функции 3—245
Вычислительная математика 1—184
Вычислительная машина 1—185
— адресность 1—49
— арифметич. устройство 1—95
— блок-схема 1—109
— дистанционный ввод 1—360
— запоминающее устройство 1—407
— запрета схема 1—415
— переменная длительность такта 2—485
— переполнения признак 2—489
— регистр команд 3—190
— символика 1—193
— управления уровни 4—170
Вычислительная машина аналоговая — см. Аналоговая вычислительная машина
— — — — аналого-цифровая 2—66
— — — — асинхронная, цифровая 1—98; 4—171, 175, 271
— — — — диаграммная 4—349
— — — — клавишная 1—186
— — — — — — с автоматизацией только вычислит. процесса 1—186
— — — — —, специализированная для выполнения операций умножения и деления 1—186
— — — — комбинированная 2—65
— — — — многосчетчиковая полнотекстовая 1—186
— — — — перфорационная 2—496
— — — — синтаксическая 4—348
— — — — синхронная, цифровая 3—349; 4—171, 271
— — — — счетно-записывающая 1—186
— — — — универсальная, цифровая 4—144
— — — — управляющая 4—178; 3—474
— — — — — — цифровая 4—179
— — — — цифровая — см. Цифровая вычислительная машина
— — — — эвристическая 4—349
— — — — электронная — см. Электронная вычислительная машина
Вычислительная система, надежность 2—356
Вычислительная техника 1—187; 4—296, 297, 300
— истории. сведения 1—33
— печатающее устройство 2—498
— физические элементы 4—244
Вычислительное бюро 1—189
Вычислительное устройство 1—189
— — — — для обработки регулярной информации 1—479
— — — — пневматическое непрерывного действия 1—190
Вычислительный центр 1—192, 29, 31
— — — — заводской 2—456
Вычитание (на ЭВМ) 1—94
Вязкое трение 1—194

Г

Гаврилова М. А. метод синтеза релейных устройств 3—337
Газа анализ 1—195
— — — — в медицине 2—267
— — ионизация 1—497
Газоанализатор 1—195
— — магнитный 1—196
— — магнитовискозиметрический 1—196
— — магнитомеханический 1—197, 196
— — магнитотермокондуктометрический 1—196
— — объемно-манометрический 1—197
— — оптико-акустический 1—198
— — оптический 1—199
— — термокондуктометрический 1—201
— — термомагнитный 1—201, 196
— — термохимический 1—202
— — ультрафиолетового поглощения 1—203
— — фотоколориметрический 1—203
Газов влагомеры 1—133—137
Газовая микроволновая спектроскопия 3—138
Газовая хроматография автоматическая 4—284
Газовое усиление тока 1—504
Газовый анализ — см. Газа анализ
Газовый плотномер — 2—512
Газонаполненный фотоэлемент 1—204
Газоочистка звуковая 1—204
— — электрическая 1—205
Газоразрядные трубки 1—248; 4—344
Газоразрядный источник света 1—206, 503
Газоразрядный прибор — см. Ионный прибор
Газорезательные станки, подготовка программ для Г. с. 4—182
Газосветные лампы 1—206
Газотрон 1—207, 502; 4—344
— деионизация 1—300
— дуговой разряд 1—389
Газы электроположительные 3—148
Галлий-мышьяк 3—21
Гальваническая связь 1—209
— коэффициент связи 3—310
Гальванические элементы 1—522
Гальванометрический усилитель 4—212
Гамакообразная структура 3—234
Гамма-дефектоскопия 1—209, 321
Гамма-излучений единицы 2—528
Гамма-процессы при разряде в газе 2—383
Гармонические колебания 1—210; 2—61
— — — — затухающие 2—61
— — — — нарастающие 2—61
Гармонический анализатор 1—210
Гармонический баланс 1—211
— линеаризация гармоническая 2—163
Гармонический синтезатор 1—211
Гармонический спектр сигнала — см. Спектр частот
Гармонического баланса метод 1—211
Гармоническое воздействие 1—212
Гармоническое движение 1—212; 2—493
Гауссова диоптрика 4—377
Гашение колебаний 3—237
Гёделя теорема 2—183, 188
Гексагональная кристаллическая система 2—330
Гексаферриты 3—23
Гексод 1—213; 2—152
Гелиевые течеискатели 1—504
Генеральная совокупность 3—425
Генератор видеоимпульсов — см. Генератор импульсов
— — высокой частоты 1—213
— — гармоник 1—213
— — динатронный 1—213
— — для диэлектрического нагрева 1—213
— — задающий 1—215
— — звуковой частоты 1—215
— — — — — — на биениях 1—215
— — импульсов 1—216
— — — — — — скважность 3—356
— — — — для систем телемеханики 1—217
— — — — игнитронный 1—225
— — — — инверторный 1—225
— — — — ионный 1—224
— — — — коммутаторный 1—222
— — — — релаксационный 1—219
— — — — сильного тока 1—221
— — — — ультразвуковой 4—134
— — — — униполярно-коммутаторный 1—222
— — — — униполярный 1—222
— — — — электромашинный 1—222
— — — — электронно-ионный 1—223
— — индукторный — см. Генератор машинный повышенной частоты
— — интерполяционный 3—419
— — ионный токов повышенной частоты 1—225
— — искровой для индукционного нагрева 1—226

— — качающейся частоты 1—227
— — квантовый — см. Квантовая система
— — квантовый оптический — см. Лазер
— — кварцевый 1—229, 99; 3—420
— — клистронный 1—230
— — ламповый для индукционного нагрева 1—231
— — — — ультразвуковой 4—138
— — магнетронный 1—233
— — — — — — стабилизация частоты 3—419
— — магнитный 1—218
— — магнитострикционный 1—234
— — машинный повышенной частоты 1—234
— — — — ультразвуковой 4—135
— — меток 1—236
— — — — — — метки времени 2—278
— — молекулярный — см. Молекулярный генератор
— — на лампе бегущей волны 1—236
— — на полупроводниковых приборах 1—237
— — на R и C — см. Генератор на сопротивлениях и емкостях
— — на сопротивлениях и емкостях 1—238
— — на точечном транзисторе 1—238
— — на туннельном диоде 1—237
— — несинусоидальных колебаний — см. Генератор релаксационных колебаний
— — низкой частоты — см. Генератор звуковой частоты
— — пилообразного напряжения 1—239
— — пилообразного тока 1—240
— — равновероятных цифр 1—284
— — развертки 1—241
— — релаксационных колебаний 1—242; 3—247
— — — — — — — — мультивибратор 2—337
— — — — — — — — синхронизация колебаний 3—348
— — релейный 1—217
— — роторный 1—251
— — с внешним возбуждением — см. Генератор с независимым возбуждением
— — с задержанной обратной связью 1—242
— — с независимым возбуждением 1—243; 2—412
— — с поперечным полем — см. Генератор машинный повышенной частоты
— — с продольным полем — см. Генератор машинный повышенной частоты
— — с самовозбуждением 1—243
— — — — — — — — автоматич. подстройка частоты
— — — — — — — — двухтактная схема 1—297
— — — — — — — — затягивание частоты 1—418
— — — — — — — — синхронизация колебаний 3—347
— — — — — — — — стабилизация частоты 3—417
— — сверхвысокой частоты 1—245
— — — — — — — — затягивание частоты 1—419
— — — — — — — — согласованная нагрузка 3—375
— — символов при помощи развертки с памятью на магнитных сердечниках 2—463
— — символов с заданием координат конечных точек отрезков прямых линий 2—464
— — символов с маской на электронолучевой трубке 2—464
— — синусоидальных колебаний — см. Генератор электромагнитных колебаний, Автоколебания, Генератор с самовозбуждением, Генератор на сопротивлениях и емкостях
— — случайных сигналов 1—480
— — стандартных сигналов 1—246
— — термоэлектрический 4—35; 1—522
— — тиратронный 1—246
— — точечного изображения символов с разверты-вающим лучом и памятью на магнитных сердечниках 2—463
— — — — — — — — с устройством памяти на сопротивлениях 2—463
— — транзитронный 1—247
— — ультразвуковой частоты — см. Ультразвуковой ламповый генератор, Ультразвуковой машинный генератор, Ультразвуковой генератор импульсный
— — фазоуправляемый 4—247
— — Холла — см. Датчик ЭДС Холла
— — частоты для систем телемеханики 1—247
— — шума 1—248
— — — — импульсный с искровым разрядом 4—344
— — электромагнитных колебаний 1—249
— — электростатический 1—249
LC-Генератор на транзисторах 1—218
Генератора динамическая характеристика 1—329
— — режимы работы 1—251
— — эквивалентная нагрузка 4—351
— — эквивалентная схема 4—351
Генератор-двигатель система 1—252
— ионное возбуждение 1—499
Генераторная лампа 1—254
— динамические характеристики и параметры 1—329
— катод термоэлектронный 2—22
— статические характеристики и параметры 3—432
Генераторные СВЧ триоды 2—152
Генерационно-рекомбинационный шум 4—265
Генерация носителей заряда в полупроводниках 1—256
Генерирование символов с помощью непрерывных колебаний специальной формы 2—464
Геодезическая задача 2—28
Гептод 1—256; 2—152
Германиевые пленки 2—510
Германиевый вентиль 3—34
Германиевый вентильный преобразователь 1—422
Германиевый диод 1—337
Германиевый транзистор 4—68, 66, 71, 75
Германиевый фотодиод 4—272
Германий 1—256; 3—19, 21
— дендриты 1—309
— ориентация 2—456
— рекомбинация носителей заряда 3—245
— скорость поверхностной рекомбинации 3—359
— термообработка 4—30
— травление 4—65
— электропроводность 4—414
Герметизация электронной аппаратуры 1—258; 2—358
Гетеродин — см. Супергетеродин
Гетеродинный волномер 1—154
Гетерополярные генераторы 1—234
Гигрометр волосяной — см. Влагомер газов гигроскопический дилатометрический
Гидравлическая система дистанционного измерения 1—357
Гидравлический аккумулятор 1—259
Гидравлический дифференциатор 1—364
Гидравлический дроссель 1—382
Гидравлический интегратор 1—470
Гидравлический исполнительный механизм 1—259
— золотниковая пара 1—429
— скоростной коэффициент 3—358
Гидравлический исполнит. механизм дроссельного управления 1—260
— — — — с объемным управлением 1—260
— — — — со струйным управлением 1—260
Гидравлический канал 2—11
Гидравлический привод, давление рабочей жидкости 1—275
— — — — в автоматических системах 1—261
Гидравлический распределитель 3—165
Гидравлический регулятор 3—209, 226
Гидравлический следящий привод 3—364
Гидравлический усилитель 1—262
Гидравлическое реле времени 3—249
Гидродвигатель — см. Гидромотор, Гидроцилиндр силовой
Гидродинамический излучатель ультразвука 1—264
Гидроинтегратор — см. Интегратор гидравлический
Гидрокопировальный автомат 1—12
Гидролокатор 1—265
Гидромотор 1—267
— — аксиально-поршневой 1—268
— — лопастной 1—268
— — поворотный 1—269
— — радиально-поршневой 1—268
— — с непрерывным вращением выходного вала 1—267
Гидрофон 1—270
Гидроцилиндр силовой 1—270
Гиперко 2—238
Гипотеза компактности образов 4—113
Гиратор 4—228
Главной обратной связи сигнал 1—270; 2—465
Глаз животных, информац. способности 2—304
Глаз человека, динамический диапазон 1—332
— зрение периферическое 1—482
— информац. способности 2—304
Глобар 3—395
Глоттохронология 2—162
Глубина носителя информации 3—192
Глухая коммутация 1—477
Глушкова В. М. метод синтеза релейных устройств 3—335
Гнездовый способ построения списков 3—100
Годограф — см. Амплитудная фазовая характеристика
Годоскоп 4—377
Голоса распознавание 3—152
Голосования метод структурного резервирования 3—234
Гомеостаз и практический разум 2—345
Гомеостазиса автоматического системы 3—295
Гомеостат 1—270, 106; 3—297
Гомоморфизм 1—271
Гомополярные генераторы 1—234
Государственная система приборов и средств автоматизации (ГСП) 4—373
Градиентные методы программирования 2—172
Градуировка 1—271; 2—7
Грамматика зависимостей 2—161
— — категориальная 2—161
— — контекстно ограниченная 2—161
— — непосредственных составляющих 2—161
— — порождающая 2—160
— — с конечным числом состояний 2—160
Грамматические модели анализирующие 2—161
Грамматическое правило 2—161
Граничная частота фильтра 1—272
Графекон 1—272, 405
Графическая панель 1—272

— мнемосхема 2—297
Графов теория 1—272
Гриддик 4—224
«Группа управления — система машин», проблема 4—159
Групповая операция 1—273
— переадресации признак 2—476
Групповая пересылка 1—273
Групповое избирание в телемеханике 1—437
Групповое регулирование напряжения 1—273
Гурвица критерий 1—274, 65
Гурвица определитель — см. Гурвица критерий

Д

Давление звука — см. Давление звукового поля
— — звукового поля 1—275
— — звуковое 1—428
— — крови, методы измерения 2—264
— — рабочей жидкости 1—275
Давления регулирование 3—233
— — реле механическое 3—253
— — ультразвукового измеритель 4—128
Да — нет схема 3—398; 4—103
Датчик, в системе автоматического контроля и регулирования 1—275
— воспринимающий орган 1—155
— градуировка 1—271
— исполнительный орган 1—513
— линеаризация характеристик 2—168
— применение в физиологич. исследованиях 2—264
— чувствительный элемент 4—336
Датчик времяимпульсный 1—277
— — генераторный 2—264
— — давления жидкостный 1—277
— — — — поплавкового типа 1—277
— — — — трубчатого типа 1—277
— — — — чашечного типа 1—277
— — — — компенсационный 1—278, 276
— — — — механотронный 2—281
— — дифференциальный 1—276, 279
— — емкостный 1—279; 2—110, 264
— — индуктивный 1—279, 276; 2—101, 109
— — информации о клиентах 3—365
— — коллоидно-графитовый резиновый 2—264
— — компенсационный 1—276
— — магнитонасыщенный 2—236
— — магнитоупругий 1—280
— — механотронный 2—281
— — параметрический 1—444; 2—264
— — перемещений фотоэлектрический 1—281
— — пневматический 1—278, 282
— — погружной 2—512
— — потенциометрический — см. Датчик реостатный
— — проточный 2—511
— — pH-метра 2—111
— — пьезоэлектрический 1—281
— — размеров механотронный 2—281
— — — — пневматический 1—282
— — — — электроконтактный — см. Реле размеров
— — реостатный 1—283
— — ртутно-резиновый 2—264
— — с частотным выходом 1—284
— — случайных чисел 1—284; 3—370
— — струнный 1—288
— — телевизионный 3—479, 476
— — телеизмерения 1—289
— — температуры 4—29, 30, 32
— — трансформаторный 1—289, 444
— — уровня поплавковый 1—290
— — ускорений механотронный 2—281
— — химотронный — см. Солион
— — ЭДС Холла 1—290
— — электроконтактный 2—101
— — электронный 4—372
Движение частиц в электрическом поле короны 1—291
Двоичная единица информации 1—477
Двоичная переменная 1—52, 293
Двоичная система счисления 1—292
Двоичная функция 1—293, 52
Двоичная ЦВМ 4—296
Двоично-десятичная система счисления 1—293
Двоично-десятичный код 2—55
Двоично-кодированная система счисления 1—294
Двоично-пятеричный код 2—50
Двоичные операции 1—293; 2—198
Двоичные решения 3—429
Двоичные сообщения 1—440
Двоичный код 2—48
— — — — на все сочетания 2—54
— — — — на одно сочетание 2—55
— — — — с защитой на четность (или нечетность) 2—55
— — — — число-символьный 2—55
Двоичный счетчик цифровой машины 4—307
Двоичный цифровой сумматор 4—308, 309
Двойки расстроенные 4—203
Двойной счет 2—99
Двойной-тройной счет 2—99
Двойственная задача 1—294
Двойственная пара 1—294
Двойственная формула 1—54
Двойственности теория 1—294; 2—171
Двойственный метод 2—172
Двузначная логика 2—181, 190
Двукратная схема 1—296
Двукратный умножитель частоты 4—144
Двусторонних оценок метод 2—172
Двухадресная команда 3—440
Двухадресная машина 1—297, 49; 2—298
Двухадресный способ построения списков 3—99
Двухполюсное соединение релейных цепей 1—297
Двухпроводная линия 1—297
Двухтактная схема 1—297, 296
Двухтактный магнитный усилитель 2—232
Двухтактный умножитель частоты 4—144
Дебая длина 1—298
Дебая теория теплопроводности в полупроводниках 3—29
Девиация частоты 1—299; 2—328
Девятиричная система счисления 1—299
— — — — — с симметричной базой 1—299
Дегазация ультразвуковая 1—299
Денонизация 1—300, 42
Действие возможное 3—102
Дейтавью 2—464
Декада 1—301
Декатрон 1—301; 503, 3—170
Декодирование 1—302, 484; 2—48; 3—319; 4—339
— — в телемеханике 2—56
— — наименований понятий 4—329
— — программы 1—302
Декодирующее устройство в вычислительной технике 1—304
— антисовпадений схема 1—92
Декомпозиции булевой функции 3—337
Декорреляция сообщения 2—53
Деления пополам способ выбора значений функции из таблицы 3—465
Делитель напряжения — см. Аттенюатор
— — частоты 1—305; 4—244
— — — — магнитный 1—219; 3—81
Дельта-модуляция 1—307; 2—326
Дельта-функция 1—307
Дембера эффект — см. Фотодиффузионный эффект
Демодулятор — см. Выпрямитель фазочувствительный, Детектор
Де Моргана законы 1—53
Демпфер 1—308
— — вихревой 1—308
— — гидравлический 1—308
— — механический 3—316
— — пневматический 1—308
— — электрический 3—315
— — электромагнитный 1—308
Демпферная обмотка 1—308; 3—315
Демпфирование 1—308
— — линейное 1—308
— — нелинейное 1—308
— — управляемое 1—309
Демпфирования переменного система 1—309
Дендриты, в полупроводниковой технике 1—309
Денситометр — см. Плотности измерение
Дерево (в теории графов) 1—273
— — кодовое 2—49
— — контактное 1—310
— — переводимого предложения 2—259
— — переводящего предложения 2—259
— — полностью декодирующее 1—310
— — предложения 2—161
Дескрипторы 1—490; 2—366
Десятичная система счисления 1—310
Десятичная цифровая регистрация 3—192, 196
Десятичный счетчик цифровой машины 4—308
Детектирование 1—310
— инерционность 1—311
— линейность 1—311
— чувствительность 1—311
Детектор 1—311
— входное сопротивление 1—313
— коэфф. передачи 1—312
— степень нелинейных искажений 1—312
— — — частотных искажений 1—312
Детектор амплитудный 1—310, 311
— — анодный 1—313
— — двухтактный 1—314
— — диодный 1—311
— — дробный — см. Детектор отношений
— — инфракрасный 1—494
— — катодный 1—314
— — ламповый 1—311
— — отношений 1—314
— — сеточный 1—315
— — синхронный 1—315, 310; 3—16
— — тепловой — см. Болометр полупроводниковый
— — фазовый 1—316, 310, 313
— — частотноамплитудный 1—313

— — частотный 1—317, 310, 313
— — — — — балансные схемы 1—102
Детерминированная машина 1—319, 122
Дефект изделия 2—348
Дефектная решетка 3—29
Дефектоскоп ультразвуковой, канал акустич. 2—11
— щуп пьезоэлектрический 3—124
Дефектоскопия 1—319
— вихревых токов метод 1—321, 444
— гамма-Д. 1—209
— измерения возбуждением вихревых токов 1—444
— магнитографический метод 1—321, 322
— магнитоиндуктивный метод 1—322
— феррозондов метод 1—321, 322
Дефектоскопия люминесцентная 1—320; 3—395
— — магнитная порошковая 1—320
— — ультразвуковая 4—119; 1—321
— — цветная 1—320
Дефектоскопы 1—319, 320
Дефекты кристалла 1—322
— акцептор 1—51
— дислокация 1—345
— донор 1—379
— дырка 1—391
Дефекты кристалла двумерные 1—322
— — — — пульмерные 1—322
— — — — одномерные 1—322
Децибел 1—332 — см. также Логарифмические единицы усиления и ослабления
Дешифратор (в вычислит. технике) — см. Декодирующее устройство
— — адреса 3—458; 4—174
Дешифратор «и» — см. Совпадений схема
— — «или» — см. Собирательная схема
— — комбинационный 1—324
— — одноимпульсных сигналов 1—323
— — операции в вычислит. технике 2—416; 3—190; 4—174
— — систем ТУ—ТС 1—323
— — — — — защита 1—420
Дешифраторная матрица 1—324; 2—484
Дешифраторная пирамида 1—324
Дешифрация — см. Декодирование
Дешифровка неизвестного языка 2—162
ДЗУ — см. Запоминающее устройство долговременное
Диагностическая подпрограмма 1—325, 516, 518
Диаграммная вычислительная машина 4—349
Дигидрофосфат аммония 3—121
— — калия 3—121
Диджитрон 2—464
Дизъюнктивная нормальная форма 1—54; 3—271
Дизъюнктивная совершенная нормальная форма 1—55, 448; 3—271
Дизъюнкция 1—52; 2—187; 4—340, 431
Дилатометры 3—228
Динамическая компенсация 1—325
Динамическая коррекция контрольно-измерительных приборов 1—327
Динамическая крутизна электронных ламп 1—330
Динамическая операционность системы команд ЦВМ 2—63
Динамическая ошибка 1—328; 4—59
Динамическая погрешность максимальная 1—328
— — — при измерении 1—328, 327, 331
— — — — среднеквадратичная 1—328
Динамическая расчетная модель 3—183
Динамическая система 1—329
— апериодический режим 1—93
— асимптотическое поведение, исследование 2—27
— воспроизведение 1—156
— временные характеристики 1—162
— вынужденные колебания 1—172
— грубость системы, определение 2—27
— изохрон область 1—447
— качественные методы исследования 2—27
— линеаризация статистическая 2—164
— нарастания время 2—362
— невозмущенное движение 2—369
— неустойчивость 2—385
— оптимальный процесс по быстродействию 2—438
— особые точки, исследование 2—27
— отклонения площадь 2—461
— ошибка средняя квадратичная 2—465
— параметр системы 2—469
— переходный процесс 2—491
— переходных процессов построение 2—491
— периодический режим 2—492
— подавление автоколебаний 3—5
— полоса пропускания 3—17
— припасовывания метод изучения 3—92
— пространство состояний 3—109
— равновесия состояние 3—129
— регулирования время 3—202
— резонанс параметрический 3—238
— статистический анализ точности 3—427
— стационарный режим 3—435
— управляемость 4—176
— уравнения
— — зависимость решений от малого параметра 2—27
— — исследование на существование и единственность решений 2—27
— — отыскание периодических решений и их исследование 2—27
— устойчивость, анализ 1—65
— фазовая поверхность многолистная 4—225
— фазовая частотная характеристика 4—226
— фазовое пространство 4—226
— — разбиение на области 3—141
— фазовой плоскости метод 4—227
— фазовый портрет 4—229
— частотная характеристика 4—315
— — — — вещественная 4—316
— — — — мнимая 4—316
— — — — обобщенная переходного процесса 4—316
— энтропийная устойчивость 4—435
Динамическая система консервативная 2—87
— — — минимально-фазовая 2—293
— — — оптимальная в статистическом смысле 2—436
— — — эргодическая 1—329
Динамическая точность САР 4—64
Динамическая характеристика генератора 1—329
— — — объекта 2—409
— — — — — аппроксимация 3—291
Динамические характеристики и параметры электронных ламп 1—329
— — — контрольно-измерительных приборов 1—331
— — — системы, стабилизация 3—290
Динамический диапазон 1—332
Динамический коэффициент усиления электронных ламп 1—330
Динамический расчет 1—332
Динамический режим 1—332
— — — триода 4—104
Динамическое планирование — см. Динамическое программирование
Динамическое программирование 1—333
— синтез оптимальных систем по методу Д. п. 3—332
Динамическое равновесие 1—334
Динамическое торможение электропривода 1—334
Динамограф опорный 2—266
Динамокардиография 2—266
Динамометр 1—335
Динамометрирование 3—479
Динатронный генератор 1—213
Динатронный эффект 2—208; 4—40 — см. также Вторичная эмиссия
Динистор 4—327
Динод 2—152
Диод(ы) 1—336
— анодная характеристика 3—433
— внутреннее сопротивление 3—434
— крутизна характеристики 3—434
— надежность 2—354
— смещение автоматическое 3—371
— сопротивление внутреннее 3—379
Диод вакуумный 1—336
— — — термоэлектронный 1—336
— — выпрямительный 2—151
— — германиевый 1—337
— — двойной 1—338
— — двухбазовый 1—343
— — из La As 3—245
— — кремниевый 1—338; 2—423
— — — — плоскостной 1—338
— — — — точечный 1—338
— — маячкового типа 2—148
— — опорный — см. Стабилитрон кремниевый
— — параметрический 1—339; 2—470
— — — — — шумы 4—266
— — — — с тонкой базой 1—339
— — — — точечный 1—339
— — полупроводниковый 1—340; 3—186; 4—345
— — — — — время переключения 1—164
— — — — — дробовые шумы 1—381
— — — — — обратный ток перехода 2—398
— — — — — параметров измерение 1—343
— — — — — шумы 4—265
— — — — — эквивалентная схема 4—351
— — — — как переключатель четырехслойный 2—483
— — — — микромодульный 2—292
— — СВЧ 1—340; 4—265
— — смесительный 1—341; 4—266
— — туннельный 1—342; 2—388; 3—401; 4—245, 246, 247
— — — — — шумы 4—266
— — — — в усилительной схеме 4—200
— — управляемый 1—343
— — четырехслойный 4—327
— — шумовой 1—249; 4—344, 345
— — — — ионный 4—344
Диодная переключательная матрица 2—484
Диодно-конденсаторная память 4—246
Диодно-транзисторные логические элементы 2—207
Диодные логические элементы 2—207
Диодный вольтметр 1—343

Диодный пуль-орган 2—389
Диодный ограничитель — см. Ограничитель амплитуды
Диодный переключатель 1—340
Диодный умножитель — см. Умножитель полупроводниковый
Диодный умножитель полупроводниковый 4—142
Диодный функциональный преобразователь 3—75
Диодов полупроводниковых параметры 1—344
—— —— —— дифференциальные 1—344
—— —— —— импульсные 1—344
—— —— —— максимально допустимые 1—345
—— —— —— статические 1—344
Диод-триод двойной 2—159
Диоптрика Гауссова 4—377
Дискретизация 1—345, 492; 2—30
—— оптимальная 4—438
Дискретная случайная величина 3—367
Дискретная случайная последовательность 1—123
Дискретные системы, анализ переходных процессов 1—64
Дискретные системы управления 4—168
Дискретный вероятностный процесс 1—123
Дискретный сигнал 1—345
Дискриминатор — см. Детектор частотный, Детектор фазовый, Временной дискриминатор
—— амплитудный — см. Селектор амплитудный
—— импульсов амплитудный 1—63
—— фазовый 1—316; 4—229
—— частотный — см. Детектор частотный
Дислокация в полупроводниках 1—345
— плотность 2—514; 3—27
Дисперсионная функция измеряемой величины 4—331
Дисперсия измеряемой величины 4—330
——случайного процесса 1—124
Диспетчер (в вычислит. машине) 1—110; 2—204; 4—446
—— автоматический — см. Автодиспетчер
Диспетчеризация 1—346, 24
— автодиспетчер 1—9
— информации представление 1—482
Диспетчеризация машиностроительных предприятий 1—347
—— нефтеперерабатывающих предприятий 1—347
—— химич. предприятий 1—347
Диспетчерская автоматизация энергосистем 1—347
— телеизмерения 1—348
— телесигнализация 1—347
— телеуправление 1—348
Диспетчерская промышленная телевизионная установка 3—478
Диспетчерский контроль 1—346
Диспетчерский пульт 3—116
Диспетчерский пункт 3—120
Диспетчерский стол 3—117
Диспетчерский щит 4—346; 3—116, 117
Диссектор 2—479
Диссипативная функция 1—348
Дистанционная защита электропередач переменного тока 1—423
Дистанционная передача 1—348
—— —— вращения 1—349
—— —— дискретная 1—349
—— —— индикаторная — см. Синхронной связи система
—— —— линейных перемещений 1—348
—— —— многообходная 1—349
—— —— —— сельсинная 1—351
—— —— —— —— — дифференциальная схема 1—351
—— —— —— —— — индикаторная схема 1—351; 3—350
—— —— —— —— — трансформаторная схема 1—351
—— —— —— —— фазовая схема 1—352
—— —— мостовая 1—352
—— —— с амплитудной модуляцией сигнала 1—352
—— —— —— —— —— —— на постоянном токе 1—354
—— —— —— —— —— —— —— —— —— фотокомпенсационная система 1—354
—— —— с емкостными датчиками 1—353
—— —— с индуктивным мостом 1—354
—— —— с переменной взаимоиндукцией 1—353
—— —— —— —— —— —— дифференциально-трансформаторная система 1—353
—— —— —— —— —— —— ферродинамическая система 1—353
—— —— сельсинная с усилением крутящего момента 1—355
—— —— угловых перемещений 1—349
—— —— усилий и вращающих моментов 1—349
Дистанционная производственная сигнализация — см. Телесигнализация
Дистанционное задающее устройство 1—398
Дистанционное измерение 1—356
— гидравлич. системы 1—357
— пневматич. системы 1—357
— электрич. системы 1—356
Дистанционное регулирование — см. Телерегулирование
Дистанционное управление 1—357
— двухпроводная система 1—358
— кнопка 2—45
— однопроводная система 1—358
— Рашковского система 1—360
— Тяжпромэлектропроекта система 1—359
Дистанционный ввод 1—360
Дистанционный контроль 2—97
Дисторсия 4—378
Дифманометр 2—244
Дифференциально-трансформаторная система дистанционного управления 1—356
—— —— дистанционной передачи 1—353
Дифференциальные уравнения, качественные методы 2—27
— малого параметра метод 2—243
— решение с помощью АВМ 1—75, 80
— численное интегрирование 1—185
Дифференциальные ур-ния в частных производных, методы численного решения 1—185
Дифференциальный метод измерения 1—361
Дифференциальных рент метод — см. Потенциалов метод
Дифференциатор — см. Дифференцирующее звено
—— гидравлический 1—364
—— пневматический 1—364
—— фрикционный дисковой 1—363
Дифференцирование сигнала 1—362
Дифференцирующая цепь 1—362; 2—422
Дифференцирующее звено 1—363
Дифференцирующее устройство 1—363
Дифференцирующий элемент 2—123
Диффузионная длина 1—364
—— —— эффективная 1—364
Диффузия носителей заряда в полупроводниках 1—365
—— примесей в полупроводниках 1—365
—— —— обратная 2—393
Диэлектрики 1—431
— вторичная эмиссия 1—165
— нелинейные свойства 3—311
Диэлектрическая антенна 1—92
Диэлектрическая сушка материалов 3—453
Диэлектрический метод регистрации 3—195
Диэлектрический нагрев 1—366
— генератор для Д. н. 1—213
—— —— в волноводе и объемном резонаторе 1—368
—— —— пресспорошков 1—369
—— —— термопластических материалов 1—369
Диэлектрический усилитель 1—370
Диэлектрических потерь измерение 1—371
Длина волны — см. Частота
—— —— предельная или критическая 1—151
—— диффузии — см. Диффузионная длина
—— интервала апериодичности 3—367
—— кодовой комбинации 2—48
—— слова 3—364
—— —— машинного 3—365
—— цикла формирования 3—367
Длинная линия 1—371
— волна бегущая 1—149
— —— стоячая 1—149
— волновое сопротивление 1—152, 371, 372
— входное сопротивление 1—372
— индуктивность распределенная 1—458
— параметр распределенный 2—469
Длинная линия бесконечная 1—149
—— —— двухпроводная 1—297
—— —— искусственная 1—372
—— —— —— — волновое сопротивление 1—152
—— —— пневматическая 1—372
Длительность импульса 1—373
Длительный режим работы электрического аппарата 1—374
Добротность (системы автоматического регулирования) 1—374
—— запаздывающего звена 1—402
—— измерительного прибора 1—374
—— камертона 1—374
—— катушки индуктивности 1—374
—— кварцевой пластинки 1—375
—— колебательного контура 1—374, 418; 2—109
—— —— ——-КУ-метр 2—141
—— конденсатора 1—374
—— магнитострикционных излучателей 1—375
—— резонатора объемного 3—243
—— транзисторного усилителя 4—198
—— упругих систем 1—375
Доверительный интервал 3—426
Доверительный предел 3—426
Дозатор(ы) 1—375
—— бестранспортерного типа 2—508
—— бункерного типа 2—508
—— весовой автоматический 1—127; 2—507
—— для малых расходов 1—377
—— клапанные 1—376
—— ковшовые 1—377

—— ленточный 2—507
—— мембранные 1—376
—— плунжерные 1—376
—— поплавковые 1—376
—— порционный автоматич. 1—127
—— поршневые 1—376
—— с гидравлическим сопротивлением 1—377
—— с мерной емкостью 1—377
—— с непрерывно вращающимися кранами 1—377
—— с опускающимся сливом 1—377
—— сильфонные 1—377
—— соотношения 1—377
—— сифонные 1—377
—— шестеренчатые 1—377
Доказательство 2—186
Документалистический поиск 1—490
Долговечность изделия 2—348, 349
Донор 1—379
Дополнительная погрешность 1—379
Допуски, задача выбора национальной системы 2—377
Допустимое значение 1—379
Допустимые состязания 1—379; 3—273
Допустимые функции 1—379
Дотитрон 2—464
Д-разбиение 1—380; 4—217
Древовидная структура линии связи 4—10
Дрейф коэффициента усиления транзисторов по току 3—39
—— магнитного потока 3—405
—— нулевого уровня решающего (операционного) усилителя 1—380; 2—416
—— —— —— усилителя постоянного тока 4—202
—— обратного тока в полупроводниковых приборах 3—39
—— параметров полупроводниковых приборов 3—39
—— экстремальной характеристики 4—359, 360, 361
Дрейфовая длина 4—355
Дрейфовый транзистор 4—68
Дробно-рациональная функция 1—381
Дробный детектор — см. Детектор отношений
Дробовой эффект 1—381; 4—263, 267
Дробовые шумы в полупроводниках и полупроводниковых приборах 1—381; 4—84, 342, 346
Дросселирующих шайб пакет 1—382
Дроссель гидравлический 1—382
—— ламинарный 1—383, 191
—— насыщения 2—229; 3—215
—— пневматический 1—383
—— сверхвысокой частоты 1—384
—— смешанного типа 1—384
—— типа сопло-заслонка 3—378
—— турбулентный 1—384, 191
—— управляемый — см. Дроссель насыщения
—— электрический 1—385
Дроссельные магнитно-вентильные логические элементы 2—205
Дуальное управление 1—385; 4—165
— синтез статистически оптимальных систем 3—342
Дуальное управление в дискретных системах 1—387
Дублирование 1—388
Дуга автоэлектронная 1—389
—— аномальная 1—389
—— низковольтная 1—389
—— нормальная 1—389
—— термоэлектронная 1—388
Дугового разряда тиратрон 4—46
Дуговой разряд 1—388, 502; 2—383; 3—298
Дуговой спектр 3—149
Дугогасительная катушка 1—389
Дугогасящая камера 1—390; 2—93
—— —— газогенерирующая 1—390
Дутье магнитное 1—390; 2—93
Дымомер 1—390
Дырка 1—391; 2—248
Дырки избыточные 1—441

Е

Единица измерения, эталон 4—438
—— информации 1—477
Единицы измерения, международная система 2—274, 525
Единичная трапецеидальная характеристика 4-101
Единичная функция 1—392
Единичное ступенчатое воздействие 1—392; 3—445
Единичный комплекс 2—81
Единичный скачок — см. Единичное ступенчатое воздействие
Емкостная связь 1—392; 3—308
— коэффициент связи 3—310
Емкостный датчик 1—279; 2—110
Емкостный уровнемер волновой 4—189
Емкость барьерная 1—392
—— входная 1—393
—— выходная 1—393
—— диффузионная 1—393
—— —— коллектора 1—394
—— —— эмиттера 1—394
—— запаздывающего звена 1—402
—— запоминающего устройства 1—394, 408; 4—293, 302
—— —— —— буферного 1—411
—— —— —— внешнего 1—412
—— —— —— оперативного 1—414
—— запоминающих элементов 4—246, 247
—— конденсатора 2—84
—— линий связи 2—175
—— накопителя — см. Емкость запоминающего устройства
—— нелинейная 1—393
—— проходная 1—394
—— распределенная 1—395
—— систем ТУ—ТС 1—395
—— сосредоточенная 1—396
Естественная форма представления чисел — см. Запятая фиксированная

Ж

Ждущий блокинг-генератор 1—396
«Живые» модели 1—519
Жребий (при кодировании) 1—484

З

Заброс — см. Перерегулирование
Завод-автомат 1—397, 25
Заводской вычислительный центр 2—456
Задание функций в машине 1—397
— алгоритмические способы 1—397
— аппроксимирующих многочленов способ 1—398
— табличные способы 1—397
—— —— —— —— табличное 3—464
Заданное значение регулируемой величины 1—398
Задатчик — см. Задающее устройство
Задача алгоритмизации 4—443
—— выбора рациональной системы допусков 2—377
—— —— соотношения между домами различного типа при планировании застройки новых районов 4—287
—— геодезическая 2—28
—— двойственная 1—294; 2—171, 172
—— информационная 3—461
—— календарного планирования производства 3—152
—— классификации 3—158
—— комбинаторного типа 4—288
—— коммивояжера 3—152; 4—288
—— народнохозяйственного планирования 2—255
—— —— —— и экстраполяции экономических показателей 2—255
—— о повышении надежности электронных машин посредством рациональной системы дублирования отдельных блоков 2—256
—— о производстве однородного продукта и оценке используемых при этом производственных факторов 1—295
—— о рациональном распределении посевной площади 2—170
—— о рюкзаке 4—288
—— о случайных блужданиях 1—123
—— о составлении оптимального графика снабжения 2—472
—— определения параметров движения по результатам наблюдений 2—28
—— перевозок неоднородного продукта простейшая 4—89
—— планирования производства 1—180; 2—170, 473
—— —— снабжения в условиях неопределенности 3—436
—— размещения 3—144
—— распределения студентов для прохождения определенных дисциплин в учебных группах 3—152
—— распределительная 4—90
—— расчета и синтеза импульсной автоматической системы 2—171
—— —— экономичного распределения мощностей в энергосистеме при заданных ограничениях режима 2—256
—— рационального использования станков 4—89
—— рационального размещения оборудования 4—287
—— сбалансирования конвейера 3—152
—— снабжения при неполной информации о спросе 1—180
—— сопряженная — см. Задача двойственная
—— составления оптимального плана перевозок и обработки 4—89
—— —— расписания обработки двух изделий на произвольном числе машин 3—152
—— транспортная 4—88
—— транспортного типа 4—90
—— трехиндексная 4—90
—— химического равновесия 2—377
Задачи определяющего класса 2—62
—— по определению возмущений или полезных сигналов, действовавших на систему, решение с помощью АВМ 1—71

Диодный пуль-орган 2—389
Диодный ограничитель — см. Ограничитель амплитуды
Диодный переключатель 1—340
Диодный умножитель — см. Умножитель полупроводниковый
Диодный умножитель полупроводниковый 4—142
Диодный функциональный преобразователь 3—75
Диодов полупроводниковых параметры 1—344
—— —— —— дифференциальные 1—344
—— —— —— импульсные 1—344
—— —— —— максимально допустимые 1—345
—— —— —— статические 1—344
Диод-триод двойной 2—159
Диоптрика Гауссова 4—377
Дискретизация 1—345, 492; 2—30
—— оптимальная 4—438
Дискретная случайная величина 3—367
Дискретная случайная последовательность 1—123
Дискретные системы, анализ переходных процессов 1—64
Дискретные системы управления 4—168
Дискретный вероятностный процесс 1—123
Дискретный сигнал 1—345
Дискриминатор — см. Детектор частотный, Детектор фазовый, Временной дискриминатор
—— амплитудный — см. Селектор амплитудный
—— импульсов амплитудный 1—63
—— фазовый 1—316; 4—229
—— частотный — см. Детектор частотный
Дислокация в полупроводниках 1—345
— плотность 2—514; 3—27
Дисперсионная функция измеряемой величины 4—331
Дисперсия измеряемой величины 4—330
——случайного процесса 1—124
Диспетчер (в вычислит. машине) 1—110; 2—204; 4—446
—— автоматический — см. Автодиспетчер
Диспетчеризация 1—346, 24
— автодиспетчер 1—9
— информации представление 1—482
Диспетчеризация машиностроительных предприятий 1—347
—— нефтеперерабатывающих предприятий 1—347
—— химич. предприятий 1—347
Диспетчерская автоматизация энергосистем 1—347
— телеизмерения 1—348
— телесигнализация 1—347
— телеуправление 1—348
Диспетчерская промышленная телевизионная установка 3—478
Диспетчерский контроль 1—346
Диспетчерский пульт 3—116
Диспетчерский пункт 3—120
Диспетчерский стол 3—117
Диспетчерский щит 4—346; 3—116, 117
Диссектор 2—479
Диссипативная функция 1—348
Дистанционная защита электропередач переменного тока 1—423
Дистанционная передача 1—348
—— —— вращения 1—349
—— —— дискретная 1—349
—— —— индикаторная — см. Синхронной связи система
—— —— линейных перемещений 1—348
—— —— многообходная 1—349
—— —— —— сельсинная 1—351
—— —— —— —— — дифференциальная схема 1—351
—— —— —— —— — индикаторная схема 1—351; 3—350
—— —— —— —— — трансформаторная схема 1—351
—— —— —— —— —— фазовая схема 1—352
—— —— мостовая 1—352
—— —— с амплитудной модуляцией сигнала 1—352
—— —— —— —— —— —— на постоянном токе 1—354
—— —— —— —— —— —— —— —— —— —— — фотокомпенсационная система 1—354
—— —— с емкостными датчиками 1—353
—— —— с индуктивным мостом 1—354
—— —— с переменной взаимоиндукцией 1—353
—— —— —— —— —— —— — дифференциально-трансформаторная система 1—353
—— —— —— —— —— —— — ферродинамическая система 1—353
—— —— сельсинная с усилением крутящего момента 1—355
—— —— угловых перемещений 1—349
—— —— усилий и вращающих моментов 1—349
Дистанционная производственная сигнализация — см. Телесигнализация
Дистанционное задающее устройство 1—398
Дистанционное измерение 1—356
— гидравлич. системы 1—357
— пневматич. системы 1—357
— электрич. системы 1—356
Дистанционное регулирование — см. Телерегулирование
Дистанционное управление 1—357
— двухпроводная система 1—358
— кнопка 2—45
— однопроводная система 1—358
— Рашковского система 1—360
— Тяжпромэлектропроекта система 1—359
Дистанционный ввод 1—360
Дистанционный контроль 2—97
Дисторсия 4—378
Дифманометр 2—244
Дифференциально-трансформаторная система дистанционного управления 1—356
—— —— дистанционной передачи 1—353
Дифференциальные уравнения, качественные методы 2—27
— малого параметра метод 2—243
— решение с помощью АВМ 1—75, 80
— численное интегрирование 1—185
Дифференциальные ур-ния в частных производных, методы численного решения 1—185
Дифференциальный метод измерения 1—361
Дифференциальных рент метод — см. Потенциалов метод
Дифференциатор — см. Дифференцирующее звено
—— гидравлический 1—364
—— пневматический 1—364
—— фрикционный дисковой 1—363
Дифференцирование сигнала 1—362
Дифференцирующая цепь 1—362; 2—422
Дифференцирующее звено 1—363
Дифференцирующее устройство 1—363
Дифференцирующий элемент 2—123
Диффузионная длина 1—364
—— —— эффективная 1—364
Диффузия носителей заряда в полупроводниках 1—365
—— примесей в полупроводниках 1—365
—— —— обратная 2—393
Диэлектрики 1—431
— вторичная эмиссия 1—165
— нелинейные свойства 3—311
Диэлектрическая антенна 1—92
Диэлектрическая сушка материалов 3—453
Диэлектрический метод регистрации 3—195
Диэлектрический нагрев 1—366
— генератор для Д. н. 1—213
—— —— в волноводе и объемном резонаторе 1—368
—— —— пресспорошков 1—369
—— —— термопластических материалов 1—369
Диэлектрический усилитель 1—370
Диэлектрических потерь измерение 1—371
Длина волны — см. Частота
—— —— предельная или критическая 1—151
—— диффузии — см. Диффузионная длина
—— интервала апериодичности 3—367
—— кодовой комбинации 2—48
—— слова 3—364
—— —— машинного 3—365
—— цикла формирования 3—367
Длинная линия 1—371
— волна бегущая 1—149
— —— стоячая 1—149
— волновое сопротивление 1—152, 371, 372
— входное сопротивление 1—372
— индуктивность распределенная 1—458
— параметр распределенный 2—469
Длинная линия бесконечная 1—149
—— —— двухпроводная 1—297
—— —— искусственная 1—372
—— —— —— — волновое сопротивление 1—152
—— —— пневматическая 1—372
Длительность импульса 1—373
Длительный режим работы электрического аппарата 1—374
Добротность (системы автоматического регулирования) 1—374
—— запаздывающего звена 1—402
—— измерительного прибора 1—374
—— камертона 1—374
—— катушки индуктивности 1—374
—— кварцевой пластинки 1—375
—— колебательного контура 1—374, 418; 2—109
—— —— ——КУ-метр 2—141
—— конденсатора 1—374
—— магнитострикционных излучателей 1—375
—— резонатора объемного 3—243
—— транзисторного усилителя 4—198
—— упругих систем 1—375
Доверительный интервал 3—426
Доверительный предел 3—426
Дозатор(ы) 1—375
—— бестранспортерного типа 2—508
—— бункерного типа 2—508
—— весовой автоматический 1—127; 2—507
—— для малых расходов 1—377
—— клапанные 1—376
—— ковшовые 1—377
—— ленточный 2—507
—— мембранные 1—376
—— плунжерные 1—376
—— поплавковые 1—376
—— порционный автоматич. 1—127
—— поршневые 1—376
—— с гидравлическим сопротивлением 1—377
—— с мерной емкостью 1—377
—— с непрерывно вращающимися кранами 1—377
—— с опускающимся сливом 1—377
—— сильфонные 1—377
—— соотношения 1—377
—— сифонные 1—377
—— шестеренчатые 1—377
Доказательство 2—186
Документалистический поиск 1—490
Долговечность изделия 2—348, 349
Донор 1—379
Дополнительная погрешность 1—379
Допуски, задача выбора национальной системы 2—377
Допустимое значение 1—379
Допустимые состязания 1—379; 3—273
Допустимые функции 1—379
Дотитрон 2—464
Д-разбиение 1—380; 4—217
Древовидная структура линии связи 4—10
Дрейф коэффициента усиления транзисторов по току 3—39
—— магнитного потока 3—405
—— нулевого уровня решающего (операционного) усилителя 1—380; 2—416
—— —— —— усилителя постоянного тока 4—202
—— обратного тока в полупроводниковых приборах 3—39
—— параметров полупроводниковых приборов 3—39
—— экстремальной характеристики 4—359, 360, 361
Дрейфовая длина 4—355
Дрейфовый транзистор 4—68
Дробно-рациональная функция 1—381
Дробный детектор — см. Детектор отношений
Дробовой эффект 1—381; 4—263, 267
Дробовые шумы в полупроводниках и полупроводниковых приборах 1—381; 4—84, 342, 346
Дросселирующих шайб пакет 1—382
Дроссель гидравлический 1—382
—— ламинарный 1—383, 191
—— насыщения 2—229; 3—215
—— пневматический 1—383
—— сверхвысокой частоты 1—384
—— смешанного типа 1—384
—— типа сопло-заслонка 3—378
—— турбулентный 1—384, 191
—— управляемый — см. Дроссель насыщения
—— электрический 1—385
Дроссельные магнитно-вентильные логические элементы 2—205
Дуальное управление 1—385; 4—165
— синтез статистически оптимальных систем 3—342
Дуальное управление в дискретных системах 1—387
Дублирование 1—388
Дуга автоэлектронная 1—389
—— аномальная 1—389
—— низковольтная 1—389
—— нормальная 1—389
—— термоэлектронная 1—388
Дугового разряда тиратрон 4—46
Дуговой разряд 1—388, 502; 2—383; 3—298
Дуговой спектр 3—149
Дугогасительная катушка 1—389
Дугогасящая камера 1—390; 2—93
—— —— газогенерирующая 1—390
Дутье магнитное 1—390; 2—93
Дымомер 1—390
Дырка 1—391; 2—248
Дырки избыточные 1—441

Е

Единица измерения, эталон 4—438
—— информации 1—477
Единицы измерения, международная система 2—274, 525
Единичная трапецеидальная характеристика 4-101
Единичная функция 1—392
Единичное ступенчатое воздействие 1—392; 3—445
Единичный комплекс 2—81
Единичный скачок — см. Единичное ступенчатое воздействие
Емкостная связь 1—392; 3—308
— коэффициент связи 3—310
Емкостный датчик 1—279; 2—110
Емкостный уровнемер волновой 4—189
Емкость барьерная 1—392
—— входная 1—393
—— выходная 1—393
—— диффузионная 1—393
—— —— коллектора 1—394
—— —— эмиттера 1—394

—— запаздывающего звена 1—402
—— запоминающего устройства 1—394, 408; 4—293, 302
—— —— —— буферного 1—411
—— —— —— внешнего 1—412
—— —— —— оперативного 1—414
—— запоминающих элементов 4—246, 247
—— конденсатора 2—84
—— линий связи 2—175
—— накопителя — см. Емкость запоминающего устройства
—— нелинейная 1—393
—— проходная 1—394
—— распределенная 1—395
—— систем ТУ—ТС 1—395
—— сосредоточенная 1—396
Естественная форма представления чисел — см. Запятая фиксированная

Ж

Ждущий блокинг-генератор 1—396
«Живые» модели 1—519
Жребий (при кодировании) 1—484

З

Заброс — см. Перерегулирование
Завод-автомат 1—397, 25
Заводской вычислительный центр 2—456
Задание функций в машине 1—397
— алгоритмические способы 1—397
— аппроксимирующих многочленов способ 1—398
— табличные способы 1—397
—— —— —— —— —— табличное 3—464
Заданное значение регулируемой величины 1—398
Задатчик — см. Задающее устройство
Задача алгоритмизации 4—443
—— выбора рациональной системы допусков 2—377
—— —— соотношения между домами различного типа при планировании застройки новых районов 4—287
—— геодезическая 2—28
—— двойственная 1—294; 2—171, 172
—— информационная 3—461
—— календарного планирования производства 3—152
—— классификации 3—158
—— комбинаторного типа 4—288
—— коммивояжера 3—152; 4—288
—— народнохозяйственного планирования 2—255
—— —— —— и экстраполяции экономических показателей 2—255
—— о повышении надежности электронных машин посредством рациональной системы дублирования отдельных блоков 2—256
—— о производстве однородного продукта и оценке используемых при этом производственных факторов 1—295
—— о рациональном распределении посевной площади 2—170
—— о рюкзаке 4—288
—— о случайных блужданиях 1—123
—— о составлении оптимального графика снабжения 2—472
—— определения параметров движения по результатам наблюдений 2—28
—— перевозок неоднородного продукта простейшая 4—89
—— планирования производства 1—180; 2—170, 473
—— —— снабжения в условиях неопределенности 3—430
—— размещения 3—144
—— распределения студентов для прохождения определенных дисциплин в учебных группах 3—152
—— распределительная 4—90
—— расчета и синтеза импульсной автоматической системы 2—171
—— —— экономичного распределения мощностей в энергосистеме при заданных ограничениях режима 2—256
—— рационального использования станков 4—89
—— рационального размещения оборудования 4—287
—— сбалансирования конвейера 3—152
—— снабжения при неполной информации о спросе 1—180
—— сопряженная — см. Задача двойственная
—— составления оптимального плана перевозок и обработки 4—89
—— —— расписания обработки двух изделий на произвольном числе машин 3—152
—— транспортная 4—88
—— транспортного типа 4—90
—— трехиндексная 4—90
—— химического равновесия 2—377
—— экстремального класса 2—62
Задачи определяющего класса 2—62
—— по определению возмущений или полезных сигналов, действовавших на систему, решение с помощью АВМ 1—71

—— расписаний теории 3—152
—— управления и планирования в условиях неопределенности или при недостаточной информации 3—436
Задающая ось (входная) 1—398
Задающее воздействие 1—398, 146
Задающее устройство 1—398; 3—206, 222
Задающий генератор 4—173
Заде метод 1—66
Задержка 1—399
—— импульсов 1—399
Зажигание газового разряда 3—298
Заземление 1—399
Закалка поверхностная при индукционном нагреве 2—521; 1—459
Закалочный трансформатор 4—95
Закись меди 1—399
Закон снятия двойного отрицания 2—187
Заливка электронной аппаратуры 1—400; 2—358
Замедления схема (для реле) 1—400
Замедленная обратная связь 3—213
Замедляющая система лампы бегущей волны 2—145
—— —— лампы обратной волны 2—150
Замещения схема — см. Эквивалентная схема
Замирание сигнала 3—50
Замкнутая система 2—395
—— —— управления 1—21; 4—166, 319
Замкнутый контур 1—401
Запаздывание 1—401
Запаздывания блок 1—401
—— —— магнитный 1—401
—— —— на конденсаторах 1—401
—— ——, основанный на аппроксимации передаточной функции 1—401
—— —— пневматический 2—514
Запаздывающее звено 1—401
Запасания теория 1—334
Запирающий слой 1—402; 2—92, 93
Записи блок 1—409
Записывающая магнитная головка 2—214
Запись команд и чисел комбинированная 1—402
—— магнитная в ЦВМ 2—219
—— числа в коде команд 1—403
Заполненная зона 1—404; 3—19
Запоминающая матрица 4—271
Запоминающая трубка 1—404; 3—58; 4—392
—— —— с барьерной сеткой 1—404
—— —— с полутоновым изображением 1—406
—— —— с сетчатой мишенью и коллектором-рефлектором 1—406
—— —— с черно-белым изображением (с бистабильной записью) 1—407
—— —— со знаковым изображением 1—407
—— —— электронолучевая 3—58
Запоминающая ячейка 4—446
Запоминающее устройство 1—407, 109; 2—360; 4—144, 146
— время выборки 1—162
— —— —— информации, среднее 1—162
— —— обращения 1—163
— —— —— к ЗУ 4—293
— емкость 1—394; 4—293
— запись команд и чисел комбинированная 1—402
— зона памяти 1—430
— куб ферритовый 2—140
— — ферритовая матрица 4—238
— магнитная головка 2—213
— магнитный носитель 2—227
— маркер 2—247
— многоступенчатая система памяти 2—299
— переключательная матрица 2—484
— распределение памяти 3—162
— регенерация информации 3—189
— стирание информации 3—436
— считывание 3—458
— —— информации неразрушающее 3—459
— таблица объектно-характеристическая 3—461
— табличное задание функций 3—464
— ферритовая многоотверстная пластина 4—239
— ячейка памяти 4—446
Запоминающее устройство буферное 1—411; 4—144
—— —— внешнее 1—411; 4—144
—— —— —— —— контроль работы 1—518
—— —— долговременное 1—412
—— —— —— емкостное 1—413
—— —— —— индуктивное 1—413
—— —— —— фотоскопическое 1—412
—— —— на магнитной ленте 2—216
—— —— на магнитной тонкой пленке с непосредственной выборкой 2—218
—— —— —— —— —— —— —— с совпадением токов 2—218
—— —— на магнитном барабане 2—222
—— —— на магнитных дисках 2—224
—— —— на трансфлюксорах 3—460
—— —— на элементах РОД 3—280
—— —— оперативное 1—413; 4—144, 302
—— —— —— —— выбор объема 4—303
—— —— —— —— испытательная программа 1—517
—— —— —— —— обновление памяти 2—392
—— —— —— —— одноступенчатая организация с применением непрямой адресации 3—107
—— —— —— —— распределение памяти 3—162
—— —— —— —— слово машинное 3—365
—— —— —— —— как ферритовая память 4—240
Запоминающие криогенные элементы 2—316
Запоминающие элементы 3—108; 4—240, 245, 246, 247, 431
Запоминающие ячейки 2—195, 203, 421
Запрета схема 1—414; 4—431
Запрещенная зона 1—415, 431; 3—18, 244
Запрещенное состояние релейной цепи 1—415
Запрещенные комбинации 1—294; 2—50
Запроса устройства 1—487, 488
Запятая плавающая 1—415; 2—254
— мантисса числа 2—247
— порядок числа 3—56
Запятая фиксированная 1—416; 2—252
Запятой плавающей метод 1—416
Зарядка частиц в электрическом поле короны 1—416, 291
Засылка 1—417; 50, 159
Засыпание триггеров 3—39, 40
Затухание 1—417
—— километрическое, зависимость от частоты 2—173
—— контура 1—417
—— линии связи 2—14, 16, 18, 46
—— переходных токов 2—176
—— ультразвука 4—116
—— ультразвуковой линии задержки 2—178
—— фильтра 4—258
—— энергии в волноводе 1—151
Затухания время — см. Регулирования время
Затухающие колебания 1—418
—— —— гармонические 2—61
Затягивание частоты 1—418
Захватывание частоты 1—419
Зацепленность алгоритма 3—395, 396
Защита автотрансформаторов 1—424
—— в системах ТУ—ТС 1—419
—— —— —— ——, основанная на контроле всего сигнала в целом 1—419
—— —— —— ——, основанная на контроле элемента сигнала 1—421
—— вентильных преобразователей 1—421
—— —— —— при коротком замыкании 1—421
—— —— —— при нарушениях в работе вспомогательных устройств 1—421
—— —— —— при обратном зажигании 1—421
—— —— —— при перегрузке 1—421
—— —— —— при прорыве запирания 1—421
—— городских сетей 1—422
—— линий от КЗ 1—425, 426
—— от двух в системах ТУ 1—420
—— потребителей электроэнергии от КЗ 1—425
—— релейная — см. Защита электропередач переменного тока
—— трансформаторов 1—424, 426
—— турбогенераторов 1—423
—— шин 1—424
—— электродвигателей от чрезмерного снижения или полного исчезновения напряжения 1—427
—— электропередач переменного тока 1—423
—— —— —— —— — канал релейной защиты 2—13
—— —— —— —— высокочастотная 1—423
—— —— —— —— дистанционная 1—423
—— —— —— —— дифференциальная 1—423
—— —— —— —— токовая 1—423
—— —— —— —— —— направленная 1—423
—— —— постоянного тока 1—425
—— электроприводов 1—427
—— —— от перегрузки 1—427
—— —— от токов КЗ 1—427
Защитное реле 3—249, 269, 270
Защитные разрядники 1—504
Звука давление 1—275
—— интенсивность 1—475
—— распространение в морской водной среде 1—266
—— рассеяние 2—380
Звуков речи распознавание 3—153
Звукового поля давление 1—275
Звуковое давление 1—428
Звуковой ветер 1—428
Звуковой генератор — см. Генератор звуковой частоты
Звуковых полей визуализации 1—129
Зеебека эффект — см. Термоэдс
Зеемана эффект 3—311
Зеркальный канал в супергетеродине 3—448
Зинеровский пробой 1—428
Знак присваивания 2—79, 413
Знаки останова 2—200
—— перехода 2—200, 202
Знаковая индикация 2—463
Знаковая электронолучевая трубка типа индикодер 2—463
—— —— —— —— характрон 4—282
Знаковые разряды дополнительного кода 2—49
—— —— обратного кода 2—51
Знаковые системы 3—317
Знакопечаточная электронолучевая трубка — см. Характрон
Знакопостоянная функция 2—209
Значимое отклонение выборки 3—427
Значность кода 2—49
Золотник — см. Золотниковая пара
Золотниковая пара 1—429
Зона валентная 2—249; 3—244
—— заполненная 1—404
—— запрещенная 1—415, 431; 3—18, 244
—— застоя — см. Зона нечувствительности
—— ионизации 2—118
—— линейности элемента или системы 1—429
—— магнитной ленты 1—429
—— —— —— — обновление памяти 2—393
—— насыщения элемента или системы 1—429
—— неоднозначности 1—429
—— нечувствительности 1—430; 2—385
—— —— — моделирование 2—315
—— памяти в ЦВМ 1—430
—— проводимости 1—404; 2—248; 3—19, 244
—— пропорциональности регулирования — см. Регулирования пропорционального пределы
—— рефрактерности 2—371
Зондов метод для распознавания печатных знаков 3—159; 4—332
Зондовые методы измерения температуры 4—19
Зонная диаграмма 1—428
Зонная модель полупроводника 3—244
Зонная очистка 1—430
Зонная плавка 1—430
Зонная теория 1—431; 3—18, 19
— дырка 1—391
Зонтичная антенна 1—92
Зоны Бриллюэна 1—431
Зрение периферическое 1—482

И

«И» схема 1—193; 2—205; 3—374; 4—431
Ибикон 2—482; 4—392
ИБМ-360 (вычислит. система) 4—298
Игнитрон 1—432; 3—282, 283, 284, 286
Игнитронный генератор импульсов 1—225
Игнитронный поджигатель 1—433
Игр теория 1—434
— минимакс 2—293
— оптимальные стратегии 2—437
— платеж 2—509
— применение к задачам синтеза оптимальных систем 3—345
Игр теория и линейное программирование 2—172
Игра конечная 1—434
—— с нулевой суммой 1—434
Играющие машины 1—122
Идентификаторы в алголе 1—56
—— в коболе 2—47
Иерархичности принцип управления 1—436; 2—35; 3—198; 4—160
Иерархичная структура — см. Многоступенчатая структура, Иерархичности принцип, Сложные системы
Избирание в телемеханике 1—436; 3—312; 4—16
Избиратель частотный в телемеханике 1—437
Избирательность (автоматич. устройства) 3—312
Избирательность (электрич. цепи) 1—439
Избыток фазы 1—440
Избыточность 1—440, 485, 492; 2—50; 4—189, 436
—— временная 2—356
—— двоично-кодированной системы счисления 1—294
—— пространственная 2—356
—— структурная 3—234
Избыточные дырки 1—441
Избыточные электроны 1—441
Излучатель магнитострикционный, добротность 1—375
—— резонансный 4—116
—— ультразвука 1—441; 3—92
—— —— механический 2—278
—— —— фокусирующий 4—268; 3—124
—— электродинамический 4—306
Излучательная способность 4—20
Излучательная шкала температуры 4—19
Излучающая фокусирующая акустическая система 4—268
α-Излучение, применение 3—134
β-Излучение, применение 3—134
γ-Излучение, применение 3—134
Излучение индуцированное 2—31, 144; 3—31, 244
—— инфракрасное 1—493
—— n-нейтронное, применение 3—134
—— разряда в газах 3—149
—— резонансное 1—207, 497
—— рекомбинационное 3—244, 31
—— спонтанное 2—31; 3—149
Излучений единицы 2—528
Излучения интенсивность потока, измерение 3—135
Измерение, дифференциальный метод 1—361
— погрешность 2—523
— —— динамическая 1—328
Измерение автоматическое 1—442; 2—95
— динамич. характеристики контрольно-измерит. приборов 1—331
—— влажности газов 1—137
—— —— жидкостей 1—139
—— —— твердых тел 1—140
—— деформации в твердых телах, тензометр 4—26
—— дистанционное 1—356
—— диэлектрических потерь 1—371
—— интенсивности потока излучения 3—135
—— концентрации водородных ионов 2—110
—— —— жидкостей 2—111
—— параметров полупроводника 3—25
—— —— транзистора, методы 4—76
—— плотности автоматическое 2—513
—— поглощения ультразвука 1—442
—— —— —— — импульсный метод 1—442
—— —— —— — оптический метод 1—443
—— —— —— — реверберационный метод 1—443
—— —— —— — резонансный метод 1—443
—— расхода 3—173
—— скорости ультразвука 1—443
—— —— —— — импульсный метод 1—444
—— —— —— — оптический метод 1—444
—— —— —— — ультразвукового интерферометра метод 1—443
—— температурных полей 4—24
—— температуры 4—18; 4—439
—— —— термоиндикаторами ИК излучения 1—496
Измерений непосредственных приборы 1—445
Измерения возбуждением вихревых токов 1—444
—— —— —— —— толщины покрытия 4—57
—— дифференциальный метод 1—361
—— единицы, международная система 2—274, 525
Измерения единица, эталон 4—438
Измерения косвенные 2—130
—— линейных и плоскостных размеров предметов автоматические 3—476
—— магнитные 2—220
—— —— — баллистический метод 1—102
—— мостовые 2—336
—— результаты, числовые характеристики 4—329
—— толщины покрытия 4—56
—— электрические неэлектрических величин 2—263
Измеритель вибрации ультразвуковой 4—135
—— первых разностей регулируемой величины 3—16
—— показателя экстремума 3—15
—— ультразвукового давления 4—128
—— уровня ультразвуковой 4—137
Измерительная аппаратура состава и свойств веществ автоматическая 3—385
Измерительное преобразование при контроле автоматическом 2—95
Измерительные приборы, градуировка 1—271; 2—7
— добротность 1—374
— дополнительная погрешность 1—379
— калибровка 2—7
— класс точности 2—42
— классификация 1—445
— успокоения время 4—215
— —— коэффициент 4—215
— —— степень 4—215
— —— характер 4—216
— шкала 4—340
Измерительные приборы цифровые автоматические 4—309
—— —— эталонные 4—438
Измерительный трансформатор 4—96
Измерительный элемент регулятора 3—206
Измеряемая контролируемая величина 2—95
Изображающая точка 1—329; 3—109, 141, 357; 4—227
Изображений и света усилители 4—190
Изображения теория 4—377
Изодром 1—446
Изодромное регулирование 3—199, 200, 202, 211
Изодромный регулятор 3—211, 199, 222, 224
Изолятор 1—431; 3—19, 28
Изоморфизм 1—446; 2—185
Изохрон область 1—447
— применение для синтеза оптимальных систем 3—330
Иконоскоп 1—448; 2—479; 4—392
—— с переносом изображения — см. Супериконоскоп
«Или» схема 1—193; 2—205; 3—371; 4—431
«Или — не» элемент 2—207
Иммерсионная линза 4—375
Импеданс тканей организма 2—263
Импедансный метод ультразвуковой дефектоскопии 1—321; 4—121
Импликант простой функции 1—448; 2—195, 204
Импликация 1—52; 2—187
—— строгая 2—192
δ-Импульс 1—449
Импульс синхронизирующий 3—347
Импульса длительность 1—373

—— задержка 1—399
—— искажение 1—505
—— фронт 1—448
Импульсная модуляция 2—327, 326, 328
Импульсная переходная функция 1—448, 469; 3—338; 4—102
Импульсная система 1—449; 4—168
— моделирование на АВМ 2—305
— переходных процессов построение 2—492
— синтез 3—325
— формоимпульсная коррекция 4—272
— частотная теория 4—321
Импульсная система автоматическая, задача расчета и синтеза 2—171
—— —— с постоянными параметрами, анализ устойчивости 1—66
—— —— синхронной передачи 3—350
Импульсная стабилизация 3—415
Импульсное воздействие 1—449
Импульсное возмущение — см. Импульсное воздействие
Импульсное регулирование 3—199, 212
Импульсное управление электроприводом 1—449
Импульсно-фазовое управление вентильным преобразователем 4—233
Импульсные генераторные лампы 1—255
Импульсные параметры транзистора 4—81
Импульсные помехи 3—42, 44
— компенсац. методы подавления 3—50
Импульсные шины 2—210
Импульсный вероятностный процесс 1—124
Импульсный инвертор 1—452
Импульсный магнетронный генератор 1—233
Импульсный метод измерения поглощения ультразвука 1—442
—— —— ультразвуковой дефектоскопии 1—321
Импульсный модулятор 2—321
Импульсный мостовой элемент 4—12
Импульсный радиолокатор с селекцией подвижных целей 2—47
Импульсный регулятор 3—212, 222
Импульсный режим 1—450
—— —— генератора — см. Модуляция импульсная
Импульсный релейный элемент 3—269
Импульсный сигнал 1—450; 4—41
— время задержки 1—163
Импульсный тиратрон 4—47
Импульсный трансформатор 4—96
Импульсный ультразвуковой излучатель 4—134
Импульсный фотоформер 3—79
Импульсный шумовой генератор с искровым разрядом 4—344
Импульсный элемент 1—450
Импульсов генератор 1—216
—— —— для систем телемеханики 1—217
—— —— релаксационный 1—219
—— —— электромашинный 1—222
—— —— электронно-ионный 1—223
—— магнитный формирователь 1—219
—— период повторения — см. Регулирования интервал
—— сильного тока генератор 1—221
—— счетчик 3—456; 4—306
—— усилитель — см. Усилитель широкополосный, Усилитель видеоимпульсов, Усилитель апериодический
—— формирование 4—269
Импульсы масштабные, формирование 4—269
—— с ВЧ заполнением — см. Импульсный сигнал
Инвариантная система регулирования 3—202
Инвариантность, автономности условия 1—44
—— системы автоматического регулирования 1—450
Инверсионный слой 1—451
Инверсия — см. Отрицание
Инверсная структура 1—451
Инверсные и прямые представления случайных цифр, способ совмещения 1—287
Инверсный каскад 1—451
Инвертирование — см. Отрицание
Инвертированный способ организации поисковых индексов 1—491
Инвертор — см. Генератор ионный токов повышенной частоты
Инвертор, в вычислительной технике 1—452, 193; 2—205; 4—431
—— автономный 1—452, 119
——, ведомый сетью 1—454
—— —— —— — реактивная мощность 3—186
—— пневматический 1—456
Инверторный генератор импульсов 1—225
Индексирование текстов автоматическое 2—366
Индексная часть команды 2—63; 3—441
Индексный регистр 2—477; 3—107, 190, 441; 4—174
Индексы Миллера 2—456
—— модификации команды 3—441
Индий-сурьма 3-21
Индикатор равновесных схем мостовых, компенсационных — см. Нульорган
Индикаторная лампа 1—457, 503; 4—393
Индикаторы ИК излучения 1—494
—— представления информации 1—482
Индикация знаковая 2—463
Индикодер 2—463
Индуктивная связь 1—458
Индуктивная система синхронной связи 3—351
Индуктивности катушка 1—458; 4—351
— добротность 1—374
Индуктивности катушка микромодульная 2—292
Индуктивность линий связи 2—175
—— распределенная 1—458
—— сосредоточенная 1—458
Индуктивные умозаключения 2—180
Индуктивный датчик 1—279, 276; 2—101
Индуктивный концентратомер кондуктометрический 2—109
Индуктивный мост 3—350, 351
Индуктивный уровнемер волновой 4—188
Индуктор для нагрева листового материала 1—461
—— для нагрева под сварку 1—461
—— для поверхностного нагрева 1—459
—— для сквозного нагрева кузнечных заготовок 1—461
—— нагревательный 1—458
Индукторные генераторы 1—234
Индукционная система синхронной передачи 3—350
Индукционный нагрев 1—463
— генератор ламповый для И. н. 1—231
— контроль режима 1—462
— —— температур 1—462
— пайка при И. н. 2—466
— поверхностная закалка при И. н. 2—521
— сварка при И. н. 3—302
— трансформатор для И. н. 4—94
— химико-термическая обработка при И. н. 4—283
— частота тока 1—462
Индукционный нагрев низкочастотный 1—466
—— —— сквозной 1—467
Индукционный регулятор — см. Потенциал-регулятор
Индуцированное излучение 2—31, 144
—— —— рекомбинационное 3-31, 244
Индуцированное комбинационное рассеяние света 3—172
Инерционное звено — см. Апериодическое звено
Инерционность объекта 4—358, 361, 362
Инжектирующий контакт 2—91
Инжекционные лазеры 3—32
Инжекция в обедненный слой 1—468
—— неосновных носителей заряда 1—468; 4—380
—— основных носителей заряда 3—26
Инженерная психология 3—112, 117
Институт автоматики и телемеханики — см. Научно-исследовательские учреждения
Инструментальный блок машины 3—281
Интеграл n-мерный, вычисление 2—331
Интегральная зависимость 1—469
Интегральное преобразование — см. Интегральная зависимость
Интегральные уравнения, решения с помощью АВМ 1—85
Интегральные функции распределения 1—123
Интегральный закон регулирования 3—202
Интегральный метод распознавания печатных знаков 3—159; 4—332
Интегральных оценок метод 1—469; 2—425
—— —— —— анализа переходных процессов 1—64
Интегратор — см. Интегрирующее устройство
—— гидравлический 1—470
—— пневматический 1—470
Интегрированная система обработки данных 1—29
—— —— —— производственной информации 1—29
—— —— управления 4—311
Интегрируемой аппроксимации метод 1—64
Интегрирующая цепь 1—472
Интегрирующее звено 1—472; 3—207
Интегрирующее устройство 1—472
—— —— цифровое 1—474; 4—306
Интегрирующий элемент 2—123
Интегро-дифференцирующая цепь 1—474
Интенсивность звука — см. Интенсивность ультразвука
—— отказов изделий 2—349, 352
—— —— конденсаторов 2—357
—— —— ламп 2—357
—— —— полупроводниковых приборов 2—354
—— —— сопротивлений 2—357
—— ультразвука 1—475; 4—116
Интервальные оценки 3—426
Интерметаллическое соединение 3—30
Интерполирование 1—185
Интерполитор 1—475
—— непрерывного действия 1—475
—— цифровой 1—475
Интерполяционная формула Лагранжа 4—356
Интерполяционный генератор 3—419
Интерполяция 1—486
Интерпретации метод 1—476, 16, 104; 4—445
Интерпретация исчисления 2—186

Интерпретируемый пульт управления универсальной цифровой машины 4—144
Интерпретирующая программа 1—104, 477
Интерферометр Фабри—Перо 2—31
Интерферометра ультразвукового метод измерения скорости ультразвука 1—443
Интуиционизм (в математике и логике) 2—189
Интуиционистское исчисление 2—187
Информативные области 3—159
Информации верность передачи 2—478
—— единица 1—477
—— —— двоичная 1—477
—— —— натуральная 1—478
—— запись — см. Регистрация автоматическая
—— количество 1—478; 2—35
—— научно-технической обработки 2—365; 4—312
—— носитель 2—386
—— обработка 1—479
—— представление (оператору) 1—482, 24; 3—115, 321
—— —— — воспроизведение сигналов 1—156
—— —— — —— телеизмеряемой величины 1—157
—— —— — отображения устройство 2—463
—— —— — электролюминесцентное табло 4—369
—— регенерация в ЦВМ 3—189
—— регистрация автоматическая 3—191
—— скорость передачи 1—483
—— считывание неразрушающее 3—459
—— телемеханической передача, разделение каналов 3—143
—— теория 1—483; 2—35
—— —— — ансамбль сообщений 1—89
—— —— — источник сообщений 1—521
—— —— — канал связи 2—10
—— —— — кодирование 2—52
—— —— — прием сигнала на фоне помех 3—86
—— —— — фильтр оптимальный 4—251
—— —— — Шенноновы теоремы 4—338
—— —— — энтропия 4—435
—— уровни кодирования 4—189
—— эффективность передачи в телемеханике 4—440; 2—55; 3—55
Информационная задача 3—461
Информационная машина 1—486, 30; 4—294
Информационная система 1—489
— таблица объектно-характеристическая 3—461
Информационная система динамическая 3—462
Информационная часть команды 3—441
Информационная электроника 4—372
Информационно-вычислительные устройства 1—481
Информационно-вычислительный центр 1—31
Информационно-логическая машина 3—396
Информационно-логические алгоритмы 4—446
Информационно-логический язык 1—491
Информационно-поисковая система 2—366
Информационно-поисковый язык 1—490; 2—366
—— —— дескрипторного типа 1—490
—— —— классификац. типа 1—490
Информационно-семиотические проблемы 3—318
Информационные органы животных, моделирование 2—304
Информационные системы у живых организмов 1—107
Информационный поиск 1—490
Информационный язык 1—491; 4—190
Информация ассоциативная 3—99
—— в системе управления 1—492
—— машинная 1—493
—— метеорологическая 1—490
—— наследственная 1—478; 2—35
—— научно-техническая, обработка 2—365
—— производственная 1—29; 2—453
—— собственная 3—99
—— физиологическая 2—261, 269
—— химическая 1—489
—— экономическая 1—28
—— —— — обработка с применением ЦВМ 4—310
—— языковая 2—162
Инфракрасная спектроскопия 3—391; 1—495
Инфракрасная техника 1—493
— области применения 1—495
Инфракрасная техника в астронавтике 1—496
Инфракрасная фотография 1—495
Инфракрасное излучение 1—493
— источники 1—493
— приемники 1—494
— применение в народном хозяйстве 1—496
— —— для научных целей 1—495
— прохождение сквозь оптические материалы (фильтры) и атмосферу 1—495
Инфракрасные детекторы 1—494
Инъекция — см. Инжекция неосновных носителей заряда
Ионизации кратность 2—250
Ионизационные методы 3—136
Ионизационный манометр 1—504
Ионизационный метод рентгенодефектоскопии 3—278
Ионизационный насос 1-504
Ионизационный расходомер 3—176
Ионизация газа 1—497; 3—148
—— поверхностная 3—149
—— ступенчатая 3—149
—— термическая 3—148
—— ударная в полупроводниках 1—498
Ионная рентгеновская трубка 3—274
Ионное возбуждение в системе генератор-двигатель 1—499
Ионное пятно 3—90
Ионное травление 2—25
Ионнооптическая система 2—251
Ионные шумовые приборы 4—343
Ионный вентиль 1—502
Ионный вентильный преобразователь 1—119
Ионный генератор импульсов 1—224
—— —— токов повышенной частоты 1—225
Ионный источник масс-спектрометра 2—251
Ионный конденсатор 1—501, 503
Ионный кристалл 3—22, 23
Ионный механотрон 2—280
Ионный преобразователь — см. Генератор ионный токов повышенной частоты
Ионный прибор 1—501; 3—150
Ионный привод, коэффициент мощности 2—131
Ионный разрядник 1—504, 503; 3—150
Ионов подвижность 3—148
Ионов рекомбинация при разряде в газах 3—149
Ионофон 1—442
Ирли эффект 2—397
Искажение амплитудное 1—61
—— импульса 1—505
Искажения амплитудные частотные 1—506, 505; 2—173
—— линейные 2—173, 9; 1—505, 506
—— нелинейные — см. Нелинейные искажения
—— перекрестные — см. Помехи перекрестные
—— фазовые 1—507, 505; 2—173; 3—312
—— частотные, коррекция 1—61
—— —— в детекторе 1—312
Искажения устранение 1—507
Искатель декадно-шаговый 1—508
—— шаговый 1—507; 2—485; 3—267
Исключенного третьего закон 2—187
Искровой генератор для индукционного нагрева 1—226
Искровой разряд 1—509; 3—149, 298
Искровой спектр 3—149
Искрогашение 1—509
Исполнительное устройство — см. Исполнительный элемент
—— —— автоматического контроля 1—510
Исполнительный механизм 1—511
—— —— гидравлический 1—259
—— —— пневматический мембранный 2—516
—— —— —— поршневой 2—516
—— —— электрический 1—512
—— —— электродвигательный 1—512
—— —— электромагнитный 1—513
Исполнительный орган 1—513; 3—267
Исполнительный релейный элемент электрический 3—271
Исполнительный элемент 1—513
—— —— регулятора 3—206
—— —— релейного устройства 1—514
Испытания телемеханических систем 1—514
—— электронной аппаратуры 1—515
Испытательная программа 1—516; 3—301
— диагностическая подпрограмма 1—325
Испытательных программ система 1—518
Исследование операций 1—518
—— ультразвуковых полей 1—520
—— —— —— — дилатометрич. метод 1—520
—— —— —— — калориметрич. метод 1—520
—— —— —— — оптический метод 1—521
—— —— —— — радиометрич. метод 1—520
Истинностная таблица 2—187, 190
Источник опорного напряжения 1—521
—— первичных случайных процессов 1—285
—— сообщений 1—521, 485
—— —— — ансамбль сообщений 1—89
—— —— — энтропия 4—436, 438
—— ультразвука 1—522
—— электропитания 1—522
Исчисление 2—186
—— высказываний 2—181, 187
—— интуиционистское 2—187
—— как синтаксическая система 2—182
—— классическое 2—187
—— λ-конверсии — см. Исчисление Чёрча
—— конструктивное 2—187
—— предикатов 2—181, 187, 188; 3—61
—— —— — метод синтеза релейных устройств, использующий язык И. п. 3—335
—— функциональное — см. Исчисление предикатов
—— Чёрча 4—325
Итеративная структура 1—523
Итеративные методы выпуклого программирования 1—181
—— —— квадратичного программирования 2—29
—— —— линейного программирования 2—172

Итеративный метод решения интегральных уравнений 1—85
—— —— решения конечных уравнений 1—86
Итерация 1—524, 86
— поиск итерациями 3—11
ИФАК — см. Международная федерация по автоматическому управлению

К

Кабель 2—5, 14, 46, 173
—— коаксиальный 2—5, 46
—— —— — волновое сопротивление 1—152
—— —— — время задержки 2—176
—— пневматический — см. Длинная линия пневматическая
—— радиочастотный 2—5
—— силовой 2—5
—— слаботочный 2—5
—— экранированный 2—14
Кабельные линии 2—173
Кавитационная эрозия 2—6
Кавитация ультразвуковая 2—6
— люминесценция ультразвуковая 2-209
Калибровка измерительных приборов 2—7
Камера дугогасящая 1—390
—— пневматическая 2—7
—— —— — дроссель пневматич. 1—383
—— —— проточная 2—7
—— —— редуцирующая 2—7
—— —— суммирующая 2—8
Камертон, добротность 1—374
Канал 2—9; 1—484
— динамический диапазон сигнала 1—332
— пропускная способность 3—108; 1—484
Канал акустический 2—10
—— без обратной связи 2—10
—— без памяти 2—10
—— без помех 2—9
—— бинарный симметричный 2—10
—— волноводный 1—149; 2—9
—— гидравлический 2—11
—— двоичный симметричный 3—109
—— дискретный 2—9
—— зеркальный в супергетеродине 3—448
—— непрерывный 2—9
—— обратной связи 2—394
—— пневматический — см. Длинная линия пневматическая
—— радио 2—12, 9, 326
—— радиолокационный 2—13
—— радиорелейный 2—12
—— релейной защиты 2—13
—— с аддитивной помехой 4—268
—— с непрерывным сигналом и аддитивной гауссовой помехой 3—109
—— с обратной связью 2—10
—— с ограниченной полосой частот и аддитивной гауссовой помехой 3—109
—— с памятью 2—10
—— с помехами 2—9
—— связи 2—9
—— —— —— — динамический диапазон 1—332
—— —— —— высокочастотной 2—14
—— —— —— оптический 2—19; 3—310
—— —— —— по линиям электропередачи 2—15
—— —— —— по распределительным сетям энергоснабжения 2—17
—— телемеханический 2—19; 3—43
—— телеотключения 2—14
—— телефонный 2—14
Карандашный метод регистрации 3—193
Карбид кремния 2—20
Карборунд — см. Карбид кремния
Кардиомонитор 2—273
Кардиоциклограф 2—273
Карматрон 2—20
Карты, просматриваемые на просвет 1—491
—— с краевой перфорацией 1—490
Карцинотрон 2—20
Карцинотроны типа *0* и *M* 1—237
Каскад — см. Оконечная ступень
—— усилительный 4—214
Каскадное соединение асинхронных машин 2—21
—— —— преобразователей 3—276
Каскадов метод синтеза релейных устройств 3—336
Катаракты 1—308
Категоризация объектов 3—98
Категорический силлогизм 2—180
Катод автоэмиссионный 1—45
—— барий-вольфрамовый прессованный 2—23
—— барий-никелевый прессованный 2—23
—— вольфрамовый 2—22, 24
—— импрегнированный 2—23
—— карбидированный 2—23, 24
—— на основе гексаборида лантана 2—23, 24
—— оксидно-магниевый 2—155
—— оксидный 2—23, 24
—— пленочный 2—22
—— с запасом активного вещества 2—23, 24
—— танталовый 2—22, 24
—— термоэлектронный 2—22
—— торцево-оксидный 2—23
—— фотоэлектронный 4—278
—— холодный с самоподдерживающейся эмиссией 2—24
Катодная светящаяся пленка тлеющего разряда 4—56
Катодная сетка 2—158, 475
Катодное падение потенциала тлеющего разряда аномальное 4—56
—— —— —— —— —— нормальное 4—56
Катодное распыление 2—25
Катодное свечение 2—149
Катодные части тлеющего разряда 4—56
Катодный повторитель 2—26
Катушка втягивающая 1—167
—— дугогасительная 1—389
—— индуктивности 1—458; 4—351
—— —— микромодульная 2—292
Катэны 3—441
Качества оценка 2—26; 4—320
—— показатели в автоматическом регулировании 2—26; 3—189; 4—168
—— —— — колебательность 2—61
—— —— — отклонений область допустимая 2—461
—— —— — подвижности степень 3—6
Качественные методы 2—27
Качество изделия 2—348
—— управления 4—168
Квадрант гидравлический — см. Гидромотор
Квадратичное программирование 2—27
Квадратичные интегральные оценки 1—469
Квадратор 2—169
Квазиимпульс носителя заряда 3—244
Квазилинейная релейная система 2—163
Квазилинейная система 2—243
Квазиоптимальный приемник 4—318
Квазистатические характеристики электронных ламп 1—329
Квазистационарный процесс 3—435
Квантование 2—30; 1—345; 3—222
—— по аргументам 1—345
—— по времени 1—345; 3—212, 222
—— по уровню 1—345; 3—222, 223
—— равномерное 2—30
Квантовая акустика 4—116
Квантовая система 2—30
— квантовый усилитель 2—32; 4—267, 336
— лазер 2—144; 3—31
— мазер 2—240
— молекулярный генератор 2—329
— парамагнитный усилитель квантовый 2—469
Квантовые приемники ИК излучения 1—494
Квантовые флуктуации 4—267
Квантовый выход 1—143
Квантовый генератор — см. Квантовая система
Квантовый оптический генератор — см. Лазер
Квантовый парамагнитный усилитель 2—469; 4—206, 207
Квантовый усилитель 2—32, 30; 4—267, 336
Квантовый шум 1—345; 2—9, 30
Квантор всеобщности 2—188; 3—61
—— существования 2—188; 3—61
Квантующая электроннолучевая трубка 2—69
Квантующие устройства 2—30
Кварц 1—282; 3—238
— пьезоэлектрич. свойства 3—121
— старение 3—240
Кварцевая пластинка, добротность 1—375
Кварцевая стабилизация — см. Стабилизация частоты
—— —— частоты автогенераторов 3—418
Кварцевый генератор 1—229, 99; 3—420
Кварцевый резонатор 3—238, 419; 4—249
Кварцевый фильтр 4—249
Квитирование в телемеханике 2—32; 1—156
Квитирующие ключи устройств телеуправления 1—32; 2—45
Кенотрон 2—32, 151
Кенотронный выпрямитель 2—33; 1—172
Керамические пьезоматериалы 3—122
Керра эффект 3—311
Керра ячейка 4—408
Кибернетика 2—34; 4—149
— автоматов теория 1—43
— бионика 1—105
— исследование операций 1—519
— распознавание образов 3—154
Кибернетика техническая 2—36; 1—32
—— экономическая 1—28
—— электроэнергетических систем 2—37
Кибернетическая модель 2—39
Кибернетическая система 2—39
— образ для К. с. 2—393
Кибернетический «зверинец» 2—39, 272; 4—149, 215
— «мышь» Шеннона 4—337; 2—39
— черепаха Эйхлера 4—215

— черепахи Уолтера 4—148; 2—272
Кибернетический эксперимент 2—37
Километрическое затухание 2—174, 176
Кинескоп 2—40; 3—89
Кипп-реле 1—307; 4—103 — см. также Спусковая схема
Клавишная вычислительная машина 1—186
Клапан (в вычислит. технике) — см. Вентиль
Клапан 2—40
—— обратный 2—41
—— переключающий 2—41
—— переливной 2—40
—— предохранительный 2—41
—— регулирующий 2—41
—— редукционный 2—41
—— управляющий 2—42
Класс точности измерительного прибора 2—42
Классификации задача 3—158
Классифицирующая машина 2—399; 3—154; 4—112, 215
Классы усиления 2—43
Клирфактор 2—43
Клистрон 2—43; 4—345, 393
— катод термоэлектронный 2—23
—— отражательный 2—44
—— прямопролетный 2—44
—— усилительный 4—206, 207
Клистронный генератор 1—230
Клистронный усилитель — см. Усилитель сверхвысокой частоты
Ключ электронный в АВМ 2—44
Ключевые слова 2—366
Ключи устройств телеуправления 2—45, 32
Кнопка 2—45
—— без самовозврата 2—45
—— двухблочная 2—45
—— моноблочная 2—45
Кнопочный пост (станция) 2—45
Кнопочный пускатель 2—45
Коаксиальная линия 2—46
Коаксиальный кабель — см. Кабель коаксиальный
Коаксиальный резонатор 3—240
Кобальт электролитический 2—228
Кобол 2—46
Ковариация 2—127
Когерентные колебания электромагнитные 2—47
Код 2—48, 53
— преобразователь К. 3—65
— преобразователь входной непрерывной величины в К. 3—64
Код адреса 2—49
—— Баркера 2—59
—— без разделительных знаков 2—48
—— бинарный, исправляющий одиночные ошибки 1—485
—— —— псевдослучайный 4—345
—— Бодо 2—48
—— в автоматическом управлении 2—49
—— время-импульсный 2—55
—— —— интервальный 2—56
—— время-интервальный 2—55
—— Грея 2—49, 55, 59
—— групповой 2—51
—— «два из пяти» 2—50
—— двоично-десятичный 2—55
—— двоично-пятеричный 2—50
—— двоичный 2—48
—— —— на все сочетания 2—54
—— —— на одно сочетание 2—55
—— —— последовательный 1—437
—— —— с защитой на четность (или нечетность) 2—55
—— —— число-символьный 2—55
—— двухчастотный 1—437
—— —— с параллельной посылкой 2-х частот 2—56
—— —— с последовательной посылкой частот 2—56
—— десятичный 2—55
—— дополнительный 2—49
—— —— модифицированный 2—50
—— клише 2—412
—— команд — см. Запись команд и чисел комбинированная
—— команды телеуправления 2—65
—— корректирующий — см. Код обнаружения и исправления ошибки
—— многоадресный 2—48
—— многопрограммный — см. Код многоадресный
—— многоступенчатый 2—55
—— модифицирующий 3—191
—— Морзе 2—48
—— неприводимый 2—48
—— неравномерный 2—48
—— обнаружения и исправления ошибки 2—50, 53; 1—485; 3—50, 55, 234
—— обратный 2—51
—— —— модифицированный 2—51
—— одночастотный с частотными признаками 2—56
—— одночастотный 1—437
—— операции 2—62, 63, 83
—— полный 2—48
—— помехоустойчивый — см. Код обнаружения и исправления ошибки
—— последовательный 2—55
—— прямой 2—52
—— равномерный 2—48
—— различимый 2—48
—— распределительный 2—56; 4—13
—— рефлексный — см. Код Грея
—— с разделительными знаками 2—48
—— с частотными признаками 2—56; 3—55
—— самопроверяющийся 2—50
—— *k*-символьный аккордный 2—55
—— —— на все сочетания 2—55
—— сменнокачественный 2—55
—— Хемминга 2—51; 3—55
Кодирование (в узком смысле) 2—52
Кодирование (в широком смысле) 2—52, 35; 1—484; 3—319
— Шенноновы теоремы 4—338
Кодирование в телемеханике 2—53
—— информации, уровни 4—189
—— одного алфавита в другом 1—60
—— помехоустойчивое 2—52
—— понятий числовое 4—328
—— с предсказанием 2—53
—— статистическое 2—52, 3—50, 54
Кодирования система 2—49
Кодирующая электроннолучевая трубка 2—57, 68
Кодирующее устройство 2—58, 49
—— —— для механич. движений 2—59
—— —— для электрич. сигналов 2—59
—— —— магнитное 2—58
Кодирующий диск 2—59
Кодирующий сектор 2—59
Кодовая импульсная модуляция 2—327, 326
Кодовая комбинация 2—48, 54
—— —— разрешенная 2—53
Кодовое дерево 2—49
Кодовое избирание в телемеханике 1—436
Кодовое разделение каналов в телемеханике 3—143
Кодовое реле 3—251
Кодовые пластины 2—59
Кодовые шины адреса 2—210
—— —— команд 2—210
—— —— чисел 2—210
Кодовый символ 2—48
Кодо-импульсная телеизмерительная система 3—483; 480; 4—10
Коды, обеспечивающие требуемый режим выполнения команды 3—441
Колебательная скорость 2—60
Колебательное звено 2—60
— постоянная времени 3—57
Колебательности показатель 2—60
Колебательность 2—61
Колебательный контур — см. Контур электрический
— добротность 1—374
Колебательный процесс 2—61
—— —— гармонический 1—210
—— —— непериодический 2—61
—— —— периодический 2—61
—— —— почти-периодический 2—61
Колебательный режим — см. Колебательный процесс
Колесо Одиера 4—245
Коллизия букв 2—201
—— знаков перехода 2—201
Колонка дистанционного управления 3—234
—— регулирования 3—233
—— —— давления 3—233
Кома 4—378
Команд восстановление в программах 1—158
—— и чисел запись комбинированная 1—402
—— контрольный знак 2—107
—— массив 2—78
—— модификации 2—62
—— регистр 3—190; 2—210; 4—173
—— система ЭЦМ 2—62
—— структура 3—440
—— —— трансформируемая 4—103
—— счетчик 3—458; 2—210
—— формирование 2—63
—— ЦВМ переадресации 2—476
Команда 2—63
—— арифметических операций 2—63
—— возврата 2—64
—— логических операций 2—63
—— обмена информацией 2—63, 64
—— перехода безусловного 2—490
—— —— условного 2—490; 3—143
—— сравнения 3—402
—— телеуправления 2—65
—— управления 2—64
—— цикла 4—290
Командная магистраль 2—210
Командная машина — см. Управляющая машина
Командно-квитирующие ключи устройств телеуправления 2—45
Командные ключи устройств телеуправления 2—45

Командные системы радиоуправления 3—141
Командоконтроллер — см. Контроллер
Команды, связанные по управлению 4—290
Комбинированная вычислительная машина 2—65
Комбинированная связь, коэффициент связи 3—310
Комбинированная электронная лампа — см. Лампа электронная комбинированная
Комит 4—446
Комвояжера задача 3—152; 4—288
Коммутатор 2—67
— матричный на бесконтактных элементах 2—485
— операций — см. Операции дешифратор
— переходов 4—174
— поверочных реверсов 4—361
— электронолучевой 2—67; 4—392
— электронный 2—68
Коммутаторный генератор импульсов 1—222
Компактрон 2—156
Компарирующие приборы 1—445
Компаундирование электрических машин 2—70; 3—197
— — с электромагнитными корректорами напряжения 3—216
— — фазовое, управляемое электромагнитным корректором напряжения 3—217
Компаундная машина 2—70
Компенсатор переменного тока автоматический 2—71
— постоянного тока автоматический 2—72
— электронный 2—73
Компенсационные методы подавления импульсной помехи 3—50
Компенсационный метод 2—73
— динамическая компенсация 1—325
Компенсационный метод при измерении давлений 1—278
Компенсация динамическая — см. Динамическая компенсация
— корреляционная 2—73
— статистическая 2—74
— — по Андерсену 2—75
— — по Берту 2—74
— — по Бюланду 2—75
— — по Куперу 2—75
— — по Марксу 2—75
— — по Осдеру 2—75
— — по Уитейкеру 2—75
Компенсирующее вычислительное устройство для прокатного стана 2—74, 77
Компенсирующее устройство 2—76
Компиляции метод 2—77; 1—16, 104
Комплекс 2—79, 413
Комплексирование машин 2—81; 3—373
Комплексная автоматизация 2—82; 1—21
— регулятор ограничивающий 3—221
Комплексная автоматическая линия 1—35, 38
Комплексов пакет 2—83; 3—131
Комплект тетрадей таблиц о двух входах 3—464
Композиция слов 2—83; 1—58
Компонующая система 2—78
«Коналог» электронная система 4—163
Конвекционный ток 2—83
Конденсатор 2—84; 1—396; 4—396
— добротность 1—374
— надежность 2—357
— напряжение испытательное 2—84
— — рабочее 2—84
— ресурс 3—279
— сопротивление изоляции 2—84; 3—380
— угол диэлектрич. потерь 2—84
Конденсатор бумажный 2—85
— вакуумный 2—85
— воздушный 2—84, 292
— газонаполненный 2—85
— ионный 1—501, 503
— керамический 2—85, 292
— металлобумажный 2—85, 292
— металлопленочный 2—292
— оксидно-полупроводниковый 2—292
— пленочный 2—292
— полистирольный 2—85
— полупеременный — см. Триммер
— полупроводниковый 2—85
— с газообразным диэлектриком 2—84
— с жидким диэлектриком 2—85
— с твердым неорганическим диэлектриком 2—85
— с твердым органическим диэлектриком 2—85
— сегнетокерамический 2—85
— слюдяной 2—85
— стеклоэмалевый 2—85
— стеклянный 2—85
— фторопластовый 2—85
— электролитический 2—85, 86
Конденсатора эквивалентная схема 4—351
Конденсаторная муфта 2—343
Конденсаторный частотомер 4—323
Конденсор 4—396
Кондуктивная связь — см. Трансформаторная связь
Конечная память системы 2—437; 3—339
Конечные методы выпуклого программирования 1—181
— — квадратичного программирования 2—29
— — — линейного программирования 2—172
Конечные уравнения, решение с помощью АВМ 1—86
Конечный автомат 2—86, 37, 160; 1—43; 3—265
— входной алфавит 1—167
— нервные сети 2—381
— переходов диаграмма 2—492
— последовательность входная 3—57
— — выходная 3—57
— представление событий 3—63
— событие 3—372
— таблица переходов 3—462
Конечный автомат как вероятностная машина 1—122
Конкретизация стандартной подпрограммы 2—87
Конкретные представления (в алголе) 1—56
Консервативная система 2—87; 3—372
Консервативный объект 2—88
Константа восстановления 1—158
— переадресации по параметру 2—476
— Столетова 2—383
— языковая 2—162
Константы восстановления цикла 4—290
— программы 2—88
Константы-команды программы 2—88
Конструктивное исчисление 2—187
Конструктивное направление (в математике и логике) 2—189; 3—246
Контакт (электрический) 2—88
— биметаллический 2—91
— вакуумный 2—91
— выпрямляющий 2—91
— инжектирующий 2—91
— мостиковый 2—88
— омический 2—91
— перекидной 2—88
— переключающий 2—88
— переходной 2—88
— полупроводник — металл 2—92
— — — — запирающий слой 1—402
— полупроводник — полупроводник 2—93
Контактная лампа 2—68
Контактное дерево 1—310
Контактные материалы 2—90
Контактные сети постоянного тока 2—19
Контактор 2—93
Континуальные модели управляющих систем 2—94
— нейристор 2—370
Контролируемая величина 2—94
— косвенные измерения 2—130
— масштабирование 2—252
Контролируемые события 2—95
Контролирующая подпрограмма 2—95; 1—516, 518
— глубина контроля 1—516
— КПД 1—516
— логич. полнота охвата контролируемой схемы 1—516
— надежность 1—516
— эффективность контроля 1—516
Контроллер 2—95
Контроль автоматический 2—95; 4—42
— АВМ применение 1—82
— агрегатная унифицированная система 1—46
— аналитические приборы 3—385
— выбор системы 2—107
— измерение автоматич. 1—442
— исполнительное устройство 1—510
— масштабирование 2—252
— радиоактивных изотопов применение в устройствах 3—134
— релейный элемент электрический 3—270
— сигнализация 3—321
— система (агрегата, цеха, процесса и др.) 2—108
— — выделение контролируемых событий 2—108
— — переработка полученной информации 2—108
Контроль адаптативный — см. Контроль логический
— активный в машиностроении 2—97, 101
— в дефектоскопии, радиотехнические методы 1—322
— — — — электромагнитные методы 1—321
— в машиностроительном производстве 2—96, 97, 98, 101
— в непрерывном химич. производстве 2—96
— диспетчерский 1—346
— дистанционный 2—97
— — — вторичный прибор 1—166
— единичный 2—96
— изменений на объекте автоматический 3—477
— контуров изделий автоматический 3—477
— линейных и плоскостных размеров предметов автоматический 3—476
— логический 2—97
— местный 2—98, 97
— многоступенчатый 2—97
— множественный — см. Контроль обегающий
— набора задачи на АВМ 2—98
— надежности на производстве 2—352
— нестационарных полей 2—383
— обегающий 2—98, 97
— — — опрос величин 2—423
— параллельный 2—97

— последовательно-параллельный 2—97
— последовательный 2—97
— приборный ЦВМ 2—100
— программный ЦВМ 2—99, 101
— профилактический ЦВМ 2—100; 4—304
— размеров автоматический в машиностроении 2—101
— самонастраивающийся — см. Контроль логический
— статистический (автоматический) 2—102
— — приемочный 2—102
— — текущий 2—102
— схемный ЦВМ 2—103
— телеавтоматический 4—42
— телемеханический 2—97; 4—42
— ультразвуковой 4—137
— уровня позиционный 3—136
— ЦВМ 2—103
— — аппаратурно-логический 2—104
— — аппаратурный 2—103
— — логический 2—103
— централизованный 2—104; 3—321
— — — центротехника 4—289
Контрольная машина универсальная 2—105
Контрольник 2—106
Контрольное суммирование 2—107
Контрольно-измерительные приборы, динамическая коррекция 1—327
— динамические характеристики 1—331
Контрольно-считывающее устройство 2—483
Контрольные расчеты 2—107
Контрольные релейные элементы 3—269, 270
Контрольные соотношения 2—100
Контрольный знак 2—107
Контрольный код команды 3—441
Контроля методы без разрушений — см. Дефектоскопия, Гамма-дефектоскопия, Рентгенодефектоскопия, Ультразвуковая дефектоскопия
Контур — см. Корректирующая цепь
Контур апериодический 1—93
— замкнутый 1—401
— колебательный — см. Контур электрический
— разомкнутый 3—145
— резонансный 1—392
— связанный 3—308, 310
— ударного возбуждения 4—269
— электрический 2—109; 1—93
— — — добротность 1—374
— — — измерение ку-метром 2—141
— — — затухание 1—417
— — — резонанс 3—236
— — — собственные колебания 3—372
«Конфлекс-1» (узнающая машина) 4—313
Конфликтная ситуация (в теории игр) 1—434, 519
Концентратомер кондуктометрический 2—109
— — безэлектродный 2—109
— — электродный 2—109
Концентратометры 3—385
Концентратор ультразвука 1—152; 4—268
Концентрации водородных ионов измерение 2—110
— жидкостей измерение 2—111
— — — — гидромеханические методы 2—111
— — — — комбинированные методы 2—113
— — — — магнитные методы 2—111
— — — — оптические методы 2—113
— — — — радиочастотные методы 2—113
— — — — тепловые методы 2—113
— — — — электрические методы 2—111
— — — — электромагнитные методы 2—111
Конъюнктивная нормальная форма 1—54
Конъюнктивная совершенная нормальная форма 1—55
Конъюнкция 1—52; 2—187; 4—340, 431
— элементарная 1—448
Координата входная 2—114
— обобщенная 2—114
Координатный самописец 2—114
Координатный соединитель 2—114
Копировально-фрезерный полуавтомат, следящая система 3—359
Копировальный автомат 1—11, 12; 3—200
Копировальный метод регистрации 3—193
«Кора» (черепаха Уолтера) 2—272; 4—148
Корневого годографа метод 2—115; 1—65
Корнеискатель 2—115; 1—86
Корона местная 2—118
— обратная 2—116, 120
— общая 2—118
— отрицательная 2—118
— переменного тока 2—120
— положительная 2—118
— постоянного тока биполярная 2—119
— — — униполярная 2—119
— с однородным чехлом 2—118
— униполярная переходная 2—120
Коронирующие электроды электрофильтров 4—424
Коронного разряда стабилитрон 3—421
Коронные сепараторы 4—419
Коронный разряд 2—118; 3—298
— движение частиц в электрич. поле короны 1—291
— зарядка частиц в электрич. поле короны 1—416
Короны запирание 2—121; 1—417
Короткое замыкание, защита вентильных преобразователей 1—421
— защита линий 1—425, 426
— — — потребителей электроэнергии 1—425
— — — электроприводов 1—427
Короткозамкнутая линия 2—122
Корректирующая цепь 2—122; 1—61
Корректирующее устройство 2—124
Корректирующий код — см. Код обнаружения и исправления ошибки
Корректирующий элемент 2—123; 3—207
Корректор напряжения 2—70
Коррекция амплитудно-частотная 1—61
— динамических свойств 2—124
— контрольно-измерительных приборов динамическая 1—327
— формоимпульсная 4—272
— характеристики — см. Коррекция амплитудно-частотная
Коррелограф — см. Коррелометр
Коррелометр 2—124
— аналоговый 2—124
— пневматический 2—125
— фотоэлектрический 2—125
— электронный 2—125
Коррелятор — см. Коррелометр
Корреляционная матрица 2—127
Корреляционная функция 2—125, 127; 1—124; 4—331
— — взаимная 2—126, 128
— — нормированная 2—127
Корреляционный анализ 2—128
Корреляционный метод приема периодического сигнала, скрытого в шумах 2—128
Корреляционный оптимизатор 1—481
Корреляция 2—127
Косвенные измерения 2—130
Косвенные показатели 2—130
Котельникова приемник 4—318
Котельникова теорема 2—130, 10
Коттон — Мутона эффект 3—311
Кохна правило 4—417
Коэффициент вносимого усиления 4—200
— возврата реле 1—146; 3—268
— воздействия по производной 1—146
— вторичной эмиссии 1—165, 166
— готовности изделий 2—350
— — — машины 4—304
— деления 1—305
— диффузии носителей заряда 1—365
— добротности измерительного прибора 1—374
— доверия 3—426
— затухания кабеля 2—5
— — — ультразвука 4—117, 118
— затягивания 1—419
— инжекции 1—469; 2—91
— ионизации 1—498
— искажения вентильных преобразователей 3—186
— использования изделий 2—350
— катодного распыления 2—25
— корреляции 2—126, 127
— модуляции 2—324
— мощности вентильного преобразователя 3—187
— — — ионного привода 2—131
— — — трансформатора силового 4—100
— — — электропривода 2—132
— нелинейных искажений 2—9
— — — — транзистора 4—79
— неравномерности — см. Неравномерности степень
— обратной связи по напряжению транзистора 4—78
— остаточной неравномерности (остаточного статизма) 3—212
— отпускания — см. Коэффициент возврата реле
— передачи детектора 1—312
— — — линейной системы комплексный 1—60
— — — совпадений схемы 3—374
— — — усиления регулятора 3—228
— поглощения ультразвука 4—117
— полезного времени работы машины 4—304
— полезного действия антенны 1—90
— разветвления совпадений схемы 3—374
— распределения примесей в ПП — см. Выращивание монокристаллов по Чохральскому, Зонная плавка
— самовыравнивания 3—287
— связи 3—310; 1—458
— сглаживания фильтра 4—256
— сдвига вентильных преобразователей 3—187
— сегрегации — см. Выращивание монокристаллов по Чохральскому, Зонная плавка
— скорости звука температурный 4—133
— скоростной гидравлических исполнительных механизмов 3—358
— стабилизации 3—414
— статизма (неравномерности) регулятора 3—228
— стоячей волны 1—149

—— Таунсенда 1—498
—— трансформации 4—101
—— усиления 4—190
—— —— антенны 1—90
—— —— дрейфового транзистора 4—70
—— —— нелинейного элемента комплексный эквивалентный — см. Адмитанц (импеданц) эквивалентный
—— —— по звуковому давлению 4—268
—— —— по мощности транзистора 4—78
—— —— по напряжению транзистора 4—78
—— —— по току транзистора 4—69, 70, 78
—— —— электронных ламп динамический 1—330
—— —— —— —— статический 3—434
—— успокоения 4—215
—— широкополосности электронных ламп 3—434
—— шума — см. Шумфактор
—— шумов транзистора 4—78
Кратковременный режим работы электрического аппарата 2—133
Кремниевая логическая матрица 2—329
Кремниевые пленки 2—510
Кремниевый вентиль 3—34
Кремниевый вентильный преобразователь 1—422
Кремниевый диод 1—338; 2—423
Кремниевый стабилитрон 3—421, 410
Кремниевый транзистор 4—71
Кремниевый триод — см. Кремниевый транзистор
Кремний 2—133; 3—19, 21
— дендриты 1—309
— ориентация 2—456
— рекомбинация носителей заряда 3—245
— скорость поверхностной рекомбинации 3—359
— термообработка 4—30
Крестообразная антенна 1—91
Кривизна поля 4—378
Криогенные элементы (в вычислит. технике) 2—135; 4—245
Криосар 2—137, 135
Криотрон 2—135, 388; 3—308
—— пленочный 4—247
Кристалл 2—138
— дефекты 1—322
— ориентация 2—456
— теплопроводность 3—29
Кристалл кварца 3—239
—— с ионной решеткой 3—22
Кристаллизация ультразвуковая 4—122
Кристаллическая решетка 2—138
Кристаллические системы 2—330
Кристаллический усилитель — см. Парамагнитный усилитель квантовый
Кристаллографические плоскости 2—456
Кристаллы валентные 2—138
—— ионные 2—138
—— металлические 2—138
—— молекулярные 2—138
Критерий(и) байесовы 2—429; 3—49, 426, 430; 4—62
—— Гурвица 1—274
—— для нижней границы времени переходного процесса 4—320
—— идеального наблюдателя 3—48, 88
—— качества — см. Целевая функция
—— —— интегральные 1—469; 2—425
—— —— правила выбора решения 3—429
—— —— расписания 3—151
—— квадратичного уклонения 2—426
—— Котельникова — см. Критерий идеального наблюдателя
—— максимума правдоподобия 2—428, 429
—— малых перерегулирований 4—320
—— минимаксный 2—431
—— минимума времени перехода системы из одного состояния в др. 2—426
—— —— математического ожидания числа выходов ошибки из заданных пределов в течение заданного интервала времени 2—430
—— —— потери информации 2—430
—— —— среднего квадрата ошибки 2—427, 429, 437
—— —— среднего риска — см. Критерий(и) байесовы
—— Михайлова 2—296
—— монотонности 2—330; 4—320
—— надежности 2—349, 350
—— Найквиста 2—359
—— Неймана — Пирсона 2—429; 3—48, 88, 430
—— оптимального управления 2—425
—— —— —— регулярный 2—426
—— —— —— статистические 2—426
—— отношения сигнал/помеха 2—462; 3—87, 88
—— —— сигнал/шум 3—48
—— подобия электрического 2—301
—— полной вероятности ошибки 3—48
—— полной взвешенной вероятности ошибки 3—48
—— помехоустойчивости 3—48
—— Рауса 3—184
—— согласия 3—427
—— —— А. Н. Колмогорова 3—427
—— —— хи-квадрат 3—427
—— устойчивости 4—217
—— эффективности сложной системы 3—366
Критическая длина волны 1—151
Критрон 2—138; 1—503
Кроува элемент 1—414
Круговая диаграмма 2—139
—— —— вещественная 2—139
—— —— мнимая 2—139
Крутизна преобразования 2—140
—— —— электронных ламп 1—331
—— характеристики 2—152; 3—85, 434
Ксеноновая лампа 1—207
Ксерографическая печать 2—499
Ксерографическая регистрация 3—192
Ксерографическая рентгенодефектоскопия 3—278
Куб ферритовый 2—140; 1—394
— ферритовая матрица 4—238
Кубическая кристаллическая система 2—330
Ку-метр 2—141; 1—371
Кунико 2—228
Куниф 1 2—228
Курковая схема 4—103 — см. также Спусковая схема
Кусочно-линейная характеристика 2—142
Кусочно-непрерывная функция 2—142

Л

Лабиринт Шеннона — см. Шеннона лабиринт
Лабораторные приборы 1—446
Лавинное умножение носителей заряда в коллекторном переходе транзистора 4—141
Лавинный пробой в полупроводниках 2—143
—— —— внутренний 2—143
—— —— p—n-перехода 2—143
Лазер 2—144, 31; 3—310; 4—274
— рассеяние света комбинационное индуцированное, использование 3—173
—— стеклянный 3—435, 311
—— триодный — см. Лазеры полупроводниковые
Лазеры инжекционные — см. Лазеры полупроводниковые
—— полупроводниковые 3—31, 244
Лампа бегущей волны 2—145; 4—206, 207, 393
— генератор на Л.б.в. 1—236
— катод термоэлектронный 2—23
— шумы 4—265
Лампа газосветная 1—206
—— генераторная 1—254; 2—22
—— —— — статические параметры 3—434
—— двухлучевая 2—147, 159
—— для выполнения специальных функций 2—152
—— дугового разряда 1—206
—— индикаторная 1—457; 4—393
—— карандашная 2—151
—— каскадная 2—158
—— «колпакового» типа 2—153
—— комбинированная 2—151
—— компактронная 2—156
—— контактная 2—68
—— ксеноновая 1—207
—— люминесцентная 1—206
—— маячковая 2—147, 151; 1—255; 4—206
—— миниатюрная 2—148; 4—313
—— многоэлектродная 2—151
—— неоновая индикаторная 2—149; 1—207; 4—344
—— обратной волны 2—150; 4—393
—— —— —— катод термоэлектронный 2—23
—— пальчиковая — см. Лампа миниатюрная
—— пирометрическая 2—501
—— повышенной надежности 2—152
—— преобразовательная 2—152
—— приемно-усилительная 2—151; 3—92
—— —— — катод оксидный 2—23
—— —— — —— холодный 2—25
—— —— — статические параметры 3—434
—— —— — цоколь 4—313
—— —— миниатюрная 2—148
—— разборная электронная 2—152
—— реактивная 3—185; 2—154
—— резнатронного типа 3—235; 2—154
—— ртутная 1—207
—— с автоэлектронной эмиссией 2—154
—— с вторичной эмиссией 1—166; 2—149, 152, 475
—— с двойным сеточным управлением 2—149
—— с катодной сеткой 2—148, 152, 475
—— с оксидно-магниевым катодом 2—155
—— с отклонением луча 2—68
—— с переменной крутизной 2—155
—— с удлиненной характеристикой — см. Лампа с переменной крутизной
—— с характеристикой специальной формы 2—152
—— сверхминиатюрная 2—151, 357
—— «сквозного» типа 2—153
—— типа «М» 2—147
—— типа «О» 2—147
—— тлеющего разряда 1—206; 4—246
—— транзитронно-регенеративная 2—152
—— усилительная 2—155

—— —— — классы усиления 2—43
—— флюоресцентная 4—344
—— фотолюминесцентная 1—206
—— цифровой индикации 2—157
—— широкополосная 2—148, 156
—— электродосветная 1—206
—— электрометрическая 2—157, 152
—— электронная — см. Электронная лампа
—— электронная комбинированная 2—158
—— электроволновая 2—159, 147; 4—393
—— электронолучевая с управлением поперечным полем 4—393
Ламповая ЦВМ 4—294, 297
Ламповый вольтметр 2—159
— пик-вольтметр 2—500
Ламповый генератор ультразвуковой 4—138
Ламповый мостовой фазовращатель 4—228
Ламповый усилитель 4—194
Ламповый фазоинвертор 4—230
Лампы цоколь 4—313
Лексикостатистический метод определения минимального времени разделения родственных языков 2—162
Лентопротяжный механизм 2—217
Леонарда система — см. Генератор-двигатель система
Лингвистика математическая 2—160
Линеаризатор 2—168
Линеаризации диапазон 2—163
Линеаризации эквивалентный метод — см. Гармонического баланса метод
Линеаризация 2—163
— применение для исследования точности нелинейных систем 4—61
—— автоколебаниями 2—163
—— вибрационная 2—163, 519; 3—209, 224
—— —— в схеме автоколебательного звена 1—10
—— вынужденными колебаниями — см. Линеаризация принудительная
—— гармоническая 2—163, 475
—— методом малых отклонений 2—163
—— принудительная 2—164
—— релейных систем — см. Линеаризация вибрационная
—— скользящая 3—224, 357
—— статистическая 2—164; 3—429; 4—61
—— характеристик датчиков 2—168
Линейная система 2—169; 4—168
— амплитудная фазовая характеристика 1—60
— амплитудная частотная характеристика 1—61
— —— —— —— логарифмическая 1—61
— апериодический режим 1—93
— воспроизведение 1—156
— вынужденная составляющая 1—172
— демпфирование 1—308
— динамич. расчет 1—332
— динамич. режим 1—332
— импульсная переходная функция 1—448
— инвариантности условия 3—202
— максимума принцип 2—242
— накопление возмущений 2—361
— передаточная функция 2—478
— переходная функция 2—490
— переходная характеристика 2—491
— переходный процесс — см. Анализ переходных процессов
— переходных процессов построение 2—491
— периодический режим 2—492
— синтез 3—325, 333, 337
— статическая ошибка 3—431
— статическая характеристика 3—432
— точность, исследования методы 4—59
— управляемость 4—176
— устойчивости запас 4—216
— устойчивости областей выделение 4—217
— устойчивость — см. Анализ устойчивости систем
— частотная характеристика 4—315
— —— —— амплитудная 1—61
— —— —— —— логарифмическая 1—61
— —— —— вещественная 4—316
— —— —— мнимая 4—316
— —— —— обобщенная переходного процесса 4—316
— чувствительность 4—333
— энтропийная устойчивость 4—435
Линейная система автоматическая, моделирование при наличии помех 2—303
—— —— динамическая, статистический анализ точности 3—427
—— —— консервативная 2—87
—— —— оптимальная 2—74, 242, 437
Линейная управляемая модель 3—288, 291
—— —— —— структурного типа 3—288
—— —— —— типа управляемой свертки 3—289
Линейная фильтрация, использование для кодирования и декодирования 1—485
Линейная электрическая цепь 2—169
Линейное программирование 2—170, 255, 472; 3—437
— двойственности теория 1—294
— методы 2—171
— —— итеративные 2—172
— —— конечные 2—172
— —— симплексный 3—323; 2—172
— приведение к игре 2—172
—— —— целочисленное 4—287; 3—145
Линейные интегральные оценки 1—469
Линейные искажения 2—173, 9; 1—505, 506
Линейные участки программы 1—302
Линейные элементы релейного устройства 3—269
Линейный интерполитор непрерывного действия 1—475
Линейный фильтр 4—252, 263, 356
Линза конденсорная 4—396
Линзовая антенна 1—91
Линзы электронные 4—375, 391, 396
Линия автоматическая 1—35; 2—83
—— —— роторная 3—280
—— двухпроводная 1—297
—— длинная 1—371; 2—469
—— —— искусственная 1—372
—— —— пневматическая 1—372
—— задержки 2—176; 1—399
—— —— для АВМ 2—177
—— —— магнитострикционная 2—178
—— —— ультразвуковая 2—177
—— —— электрическая 2—176
—— коаксиальная 2—46
—— короткозамкнутая 2—122
—— переключения 2—178
—— радиорелейная 2—12
—— связи, избирательность 1—439
—— —— — электрич. характеристики 2—174
—— —— воздушные 2—173, 14
—— —— кабельные 2—173
—— —— с древовидной структурой 4—10
—— —— с цепочечной структурой 4—10
—— электрическая, волновое сопротивление 1—152
—— электропередачи, автоматич. повторное включение 1—42
Лифтотрон 1—503
Л-катод 2—23, 24
Ловушки в полупроводниках 2—135; 4—265 — см. также Рекомбинация носителей заряда
Логарифмирующая схема 2—179
Логарифмические единицы усиления и ослабления 2—179
Логика 2—180
—— бесконечнозначная 2—181, 190
—— вероятностная 2—181
—— высказываний 2—180, 187
—— двузначная 2—181, 190
—— дедуктивная 2—180
—— деонтическая 2—192
—— диалектическая 2—183
—— долженствования — см. Логика деонтическая
—— индуктивная 2—181
—— майоритарная 2—184
—— математическая 2—184, 180
—— —— — алгебра Л. 1—51
—— —— — предикат 3—60
—— многозначная 2—190, 181
—— модальная 2—192, 181
—— пороговая 2—192
—— предикатов 2—181; 3—60
—— символическая — см. Логика математическая
—— теоретическая — см. Логика математическая
—— традиционная формальная 2—180, 185
—— трехзначная 2—190
Логико-математические исчисления 2—181
Логистика — см. Логика математическая
Логическая информационная таблица 3—462
Логическая матрица кремниевая 2—329
Логическая машина 2—193; 1—23
—— —— для анализа и синтеза релейных схем 2—194
—— —— для получения минимальных членов булевых функций, характеризующих релейные цепи 2—195
—— —— контрольная универсальная 2—105
Логическая операторная схема ЭЦМ 2—195
Логическая операция машины 2—198, 422
Логическая проверка программы 2—461
Логическая семантика 2—182
Логическая символика 2—187
Логическая схема 2—199; 1—58, 60
— оператор Л. с. 2—413
— равносильность 3—130
— равносильные преобразования 3—131
—— —— на лесенках 4—91
—— —— на трансфлюксорах 4—91
—— —— программы 2—202; 1—58, 302
—— —— —— блок-схема программы 1—110
—— —— —— ЦВМ 2—203
Логическая формализация 2—183
Логическая функция 1—52; 2—205; 3—335; 4—340
— импликант простой 1—448
— минимальный член 2—294
— минимизация 2—295
Логическая функция недоопределенная 2—370
— общая минимальная форма 2—409

— частная минимальная форма 4—314
Логическая цепь (схема) 2—204
Логическая шкала 2—204; 4—290
Логические исчисления 2—181
Логические команды 2—63
Логические модели электрич. систем 1—13
Логические операции (в алгебре логики) 1—52
Логические сети 1—44
Логические системы управления 1—23
Логические теории 2—182
Логические элементы, бесконтактные схемы управления электроприводами на Л. э. 1—102
—— —— диодно-транзисторные 2—207
—— —— диодные 2—207
—— —— магнитно-вентильные 2—205
—— —— —— дроссельные 2—205
—— —— —— трансформаторные 2—206
—— —— магнитно-полупроводниковые 2—205
—— —— полупроводниковые 2—206
—— —— транзисторные 2—207
—— —— феррит-диодные 1—103
—— —— феррит-транзисторные 1—103; 2—206
Логические языки, сравнение с естественными языками 2—162
Логический контроль ЦВМ 2—103
Логический тиратрон 4—49
Логический элемент 2—205; 3—262; 4—238, 245
—— —— аналоговой вычислительной машины 2—208
—— —— на параметроне 2—473
—— —— типа «и» — см. Совпадений схема
—— —— типа «или» — см. Собирательная схема
—— —— ЦВМ 4—431; 1—193
Логических схем конструирование 2—201
Логическое переключающее устройство 2—485
Логическое сложение 1—52, 293
—— —— двух кодов поразрядное 2—199
Логическое умножение 1—52, 293
—— —— двух кодов поразрядное 2—199
Логической схемы оператор 2—413
Ложная тревога 3—48
Ложное срабатывание (в системе телемеханики) 2—355
Локальные уровни — см. Зонная теория
Лучевой тетрод 2—208; 4—40
Лучевые способы обработки 4—422
Лучеприемники радиационных пирометров 2—503
Люминесцентная дефектоскопия 1—320; 3—395
Люминесцентные лампы 1—206
Люминесцентный анализ 3—394
Люминесценция ультразвуковая 2—209
Люминесцирующий экран 4—392
Люфт — см. Мертвый ход
Ляпунова метод 2—209; 1—65; 4—220
Ляпунова функция 2—209; 4—221, 222

М

Магистраль адресная 2—210
—— командная 2—210
—— сигнальная 2—210
—— числовая 2—210
«Магический глаз» — см. Индикаторная лампа
Магнакарды 1—491
Магнезин 2—210
Магнетрон 2—211, 509
— катод термоэлектронный 2—23
Магнетронного типа приборы 2—212
— карматрон 2—20
— платинотрон 2—509
Магнетронный генератор 1—233
Магнистор 2—213
Магнитная восприимчивость, измерение 2—222
Магнитная головка 2—213
Магнитная запись электрических сигналов 2—214
— динамич. диапазон 2—215
— нелинейные искажения 2—215
— неравномерность движения носителя записи 2—215
— частотная характеристика 2—215
Магнитная индукция, измерение 2—220
Магнитная лента 2—216, 387, 388; 1—412, 487; 4—246
— зона М. л. 1—429
— — обновление памяти 2—393
— маркер 2—247
Магнитная линза 4—375, 389, 390, 391
Магнитная пленка 4—245
Магнитная подвеска 3—308
Магнитная порошковая дефектоскопия 1—320
Магнитная проницаемость, измерение 2—222
Магнитная развертка 3—405
Магнитная тонкая пленка 2—218, 388
Магнитная шкала температуры 4—19
Магнитно-вентильные логические элементы 2—205
Магнитно-диодный телемеханический бесконтактный распределитель 3—166
Магнитное дутье 1—390; 2—93
Магнитное кодирующее устройство 2—58
Магнитное напряжение, измерение 2—221
Магнитное поле, измерение 2—220
Магнитное реле 3—251
Магнитное сопротивление 3—380
Магнитное состояние тела, измерение 2—220
Магнитной записи способы в ЦВМ 2—219
—— —— —— амплитудные 2—219
—— —— —— фазовые 2—220
—— —— —— частотные 2—220
Магнитно-полупроводниковые логические элементы 2—205
Магнитные единицы 2—527
Магнитные измерения 2—220
— баллистический метод 1—102
Магнитные свойства вещества, измерение 2—220
Магнитные сердечники 2—387, 388
Магнитные стали 2—228
Магнитные тонкие пленки 4—247
Магнитные чернила 2—222
Магнитный барабан 2—222, 227; 4—246
Магнитный блок запаздывания 1—401
Магнитный генератор 1—218
Магнитный делитель частоты 1—219; 3—81
Магнитный диск 2—224; 4—246
Магнитный модулятор 2—225
Магнитный момент, измерение 2—222
Магнитный носитель 2—227, 214
Магнитный поток, измерение 2—221
Магнитный преобразователь 3—65
Магнитный пускатель 2—228
Магнитный стержень 4—247
Магнитный усилитель 2—229; 4—195
—— —— без обратной связи 2—229
—— —— быстродействующий 2—233
—— —— двухтактный 2—232
—— —— напряжения — см. Магнитный модулятор
—— —— операционный 2—420
—— —— с внешней обратной связью 2—231, 232
—— —— с самонасыщением 2—230
—— —— со смешанной обратной связью 2—231, 232
—— —— со смещением постоянным током 2—231
Магнитный формирователь импульсов 1—219
Магнитный электронный микроскоп 4—395
Магнитными усилителями управление электроприводом 2—233
Магнитографический метод дефектоскопии 1—321, 322
Магнитоимпульсная обработка 4—422
Магнитоиндуктивный метод дефектоскопии 1—322
Магнитометр 2—235
—— гальваномагнитный 2—237
—— генераторный 2—236
—— индукционный 2—236
—— магнитомеханический 2—236
—— магнитомодуляционный 2—236
—— магнитонасыщенный 2—236
—— магнитооптический 2—237
—— магнитоэлектрический 2—236
—— на основе мазера 2—241
—— электронный 2—237
—— ядерно-прецессионный 2—236
Магнитооптические модуляторы света 3—311
Магниторезистивный преобразователь 2—237
Магнитострикционная линия задержки 2—178
Магнитострикционные излучатели, добротность 1—375
Магнитострикционные материалы 2—237
Магнитострикционный генератор 1—234
Магнитострикционный преобразователь 2—238; 3—67
Магнитострикционный резонатор 4—250
Магнитострикционный фильтр 4—250
Магнитострикция 2—239
Магнитоуправляемые плазменные полупроводниковые приборы 3—32
Магнитоупругий датчик 1—280
Магнитоупругий эффект 2—240
Магнитофотовольтаический эффект — см. Фотогальваномагнитный эффект
Магниты сверхпроводящие 3—308
Мадисторы — см. Полупроводниковые плазменные магнитоуправляемые приборы
Мажоритарная функция 2—184
Мажоритарный элемент 2—184; 4—431
Мазер 2—240, 31
Майрид 2—506
Максимального правдоподобия метод 3—425
Максимин (в теории игр) 1—435
Максимума принцип 2—241
— применение для синтеза оптимальных систем 3—331
Максимума принцип для линейных систем 2—242
«Максимум-максиморум» 3—309
Малого параметра метод 2—243
Мановакуумметр 2—244
Манометр 2—244
—— гидравлический 2—245
—— дифференциальный с упругими элементами 2—246
—— ионизационный 1—504
—— колокольный дифференциальный 2—246; 244; 1—277
—— кольцевой дифференциальный 2—247; 1—277
—— компрессионный 1—113

—— мембранный 2—245
—— поплавковый дифференциальный 1—278
—— поршневой 2—245
—— радиоизотопный 2—245
—— с трубчатой пружиной 2—247, 245
—— сильфонный 2—245
—— сопротивления 2—245
—— электрический 2—245
Манометрические термометры 3—228
Мантисса числа 2—247
Маркер 2—247
Масок метод — см. Зондов метод для распознавания печатных знаков
Масса эффективная носителя заряда в ПП 2—248
Массив команд 2—78
—— —— вложенный 2—79
—— —— обыкновенный 2—78
—— —— определенный 2—78
—— чисел 2—78, 79
Массового обслуживания теория 2—249, 312; 1—519; 3—365
Массометр 2—508
Масс-спектрограф 2—251
Масс-спектрометр 2—250; 1—501, 504
Масс-спектрометрические течеискатели 2—252
Масштабирование 2—252
—— в системах контроля 2—252
—— в цифровых вычислительных машинах 2—252
Масштабные импульсы, формирование 4—269
Масштабный множитель 2—252
Масштабных множителей метод 2—253
Масштабов плавающих метод 2—253
Масштабов постоянных метод 2—253
Математика вычислительная — см. Вычислительная математика
Математическая лингвистика — см. Лингвистика математическая
Математическая логика — см. Логика математическая
Математическая экономика — см. Математическое программирование
Математическое ожидание измеряемой величины 4—330
Математическое программирование 2—255
— вычислит. проблемы 2—257
— задача о повышении надежности электронных машин посредством рациональной системы дублирования отдельных блоков 2—256
— математич. проблемы 2—256
— прикладные проблемы 2—257
— расчет экономичного распределения мощностей в энергосистеме при заданных ограничениях режима 2—256
— статическая модель народно-хозяйственного планирования и экстраполяции экономических показателей 2—255
Материально-техническое снабжение 1—27
Матрица дешифраторная 1—324
—— запоминающая 4—271
—— инциденции графа 1—273
—— корреляционная 2—127
—— логическая кремниевая 2—329
—— обучающаяся 2—316
—— передачи фильтра электрического 4—259
—— переключательная 2—484
—— переходных вероятностей канала 2—10
—— платежная 2—293
—— пленочная в ЗУ с непосредственной выборкой 2—218
—— ферритовая 4—238; 2—140
—— четырехполюсника 4—326
—— —— волновая 4—326
Матрицы структурные 3—444
Матричная модель в экономико-математич. исследованиях 1—28
Матричная схема кодирующего устройства 2—58
Матричное центральное устройство управления с постоянной программой 4—172
Матричные модели 1—28; 4—311
Матричные печатающие устройства 2—498
Матричный анализ релейных устройств 3—271
Матричный анализатор релейных схем 2—194
Матричный коммутатор на бесконтактных элементах 2—485
Матричный сумматор 2—484; 4—308
Матричный формирователь такта 4—271
Машина, общее определение 1—43; 4—110
Машинный нуль 2—257
Машинный перевод 2—257, 161
— ввод текста в машину 2—257
— морфологический анализ 2—258
— синтаксический анализ 2—259
— синтез переводящего предложения 2—259
— словарь М. п. и поиск в словаре 2—258
— состояние и перспективы 2—260
— тезаурус 3—473
— установление соответствий между переводимым и переводящим текстами и язык-посредник 2—259
Машинный язык 4—443
—— —— универсальный 2—260
Машиносчетная станция предприятия 1—29
Машины-модели 2—303
Машины-советчики 1—9, 480
Маячковая лампа — см. Лампа маячковая
Маячковый триод 4—206, 207
Мгновенное значение 3—473
М-граммы 2—53
Медиана 4—330
Медицинская электроника 2—261
Медленные энергетические состояния в полупроводниках 3—39
Медленный вентиль 3—33
Медные цепи 2—174
Международная практическая температурная шкала 4—19
Международная система единиц 2—274, 525
Международная федерация по автоматическому управлению 2—274
Международные симпозиумы по теории релейных устройств и конечных автоматов 2—275; 3—273
Мейснера эффект 3—307
Мембрана 2—275
Мембранный исполнительный механизм пневматический 2—516
Мембранный потенциал клетки 2—262
Мемистор 2—275
Мера неопределенности ситуации Хартли 1—478
Меридиональная поверхность изображения 4—378
Мертвая зона — см. Зона нечувствительности
Мертвый ход 2—276
Меры (класс. прибора) — см. Класс точности
Мёссбауэра эффект 2—276
Месздоза — см. Динамометр
Местное устройство управления ЦВМ 4—171
Металлообрабатывающий автомат 1—11, 20
— подготовка программ для М. с. 4—182
Металогика 2—186
Метаматематика 2—185, 186
Метаматематическая переменная 2—187
Метаметатеория 2—187
«Метаметр» система 1—349
Метаниобат свинца 3—122
Метастабильные атомы 3—149
Метастабильные уровни возбуждения 1—497; 3—149
Метатеория 2—186
Метеорологическая информация 1—490
Метка в адресном языке 1—50
—— в алголе 1—56
—— в коболе 2—47
Метки времени 2—278
Механические характеристики электродвигателей 2—278
Механический излучатель ультразвука (звука) 2—278
Механический усилитель мощности 2—279
Механотрон 2—280, 263
Механотрон-акселерометр 4—137
Механотронный датчик 2—281
Механотронный усилитель 4—212
Механотроны ионные 2—280
—— электронные 2—280
Микровеберметр 3—405
Микровыключатель 2—282; 1—171
Микродифракционные исследования 4—396
Микрокоманда 2—291; 64, 4—175
Микроманометр 2—244
Микрометр электронный 2—281
Микроминиатюризация электронной аппаратуры 2—283, 263, 287, 319, 329
Микромодуль 2—286, 284, 319; 4—373, 386
— микроэлемент 2—292
Микромодульная катушка индуктивности 2—292
Микромодульное конструирование 2—284
Микромодульное построение цифровых машин 2—287
Микромодульные сопротивления 2—292
Микромодульный транзистор 2—292
Микроопераций в арифметическом устройстве 1—95
Микрооперационная ЦВМ 4—295
Микрооперация машины 4—295
Микропереключатель — см. Микровыключатель
Микропривод переменного тока с двухфазным двигателем 2—288
—— постоянного тока 2—259
Микропрограмма 2—64, 291, 416; 3—470
Микропрограммное управление в ЦВМ 2—290; 1—95, 436; 3—108; 4—295
Микропрограммное центральное устройство управления 4—175
Микроскоп автоэмиссионный 1—45
—— ультрафиолетовый телевизионный 2—267
—— электронный 4—394
Микросхема пленочная 2—291, 284, 287
Микротакт работы машины 3—470; 4—271
Микроэлектродные исследования в физиологии 2—262
Микроэлектроманометр 2—264
Микроэлектроника 2—283
Микроэлемент 2—292, 284, 286
— производство 4—388
Микроязыки 4—170

Миллера индексы 2—456
Милливольтметр 2—160
Миникарды 1—490
Минимакс 2—293; 1—435
Минимаксно-оптимальные системы 2—433
Минимаксный критерий 2—431
Минимальная дизъюнктивная нормальная форма 1—55, 448
Минимальная нормальная форма 1—55
Минимальная форма общая недоопределенной логической (булевой) функции 2—409
—— —— частная (дизъюнктивная) недоопределенной логической (булевой) функции 4—314
Минимальное время разделения родственных языков 2—162
Минимальной избыточности метод структурного резервирования 3—234
Минимальной ε-сети проблема построения 4—438
Минимально-фазовая система 2—293; 1—61
Минимальный член логической (булевой) функции 2—294; 1—448
Минимизаций метод решения конечных уравнений 1—86
Минимизация бесконтактных устройств 2—296
—— диагностики 2—106
—— испытаний (тестов) 2—106
—— конечных автоматов 2—87
—— логических (или булевых) функций 1—448; 2—195, 294, 295
—— релейно-контактных устройств 2—296
—— структуры релейного устройства 2—294
—— числа логических звеньев структуры релейного устройства 2—295
—— —— промежуточных элементов 2—294
Минимизирующая карта 1—55
Михайлова критерий 2—296; 1—65
Мнемоническая схема — см. Мнемосхема
Мнемосхема 2—297; 1—272, 346; 3—115, 117
—— мимическая 2—297
—— полусветовая 2—297
—— световая 2—297
—— электролюминесцентная 2—297
Многоадресная команда 3—190, 440
Многоадресная машина 2—298, 490; 1—49
Многоканальная передача 2—12, 326; 3—143
Многоканальная телеизмерительная система 3—484, 480
Многоканальная телемеханическая система 4—10
Многоканальные методы избирания в телемеханике 1—436
Многоканальные системы связи 2—14
Многополюсник универсальный n переменных 2—298
Многополюсное соединение релейных цепей 2—298
Многорегистровое арифметическое устройство ЦВМ 2—298
Многоступенчатая система памяти 2—299
Многоступенчатая структура 2—300 — см. также Иерархичности принцип, Сложные системы
Многосчетчиковые полнотекстовые машины 1—186
Множеств теория, парадоксы 2—188, 191
Множества дискретных сообщений 1—89
—— непрерывных сообщений 1—89
Множители (в логике) 1—53
Множительно-делительное устройство (аналоговое)— см. Перемножающее устройство
Множительное устройство — см. Перемножающее устройство
Множительное устройство с параллельными каналами вычисления 2—300
Мода 4—330
Модальная логика 2—192
Моделирование 2—301, 37
— алгоритмизация процесса 1—59
Моделирование автоматических систем при наличии помех 2—303
—— —— —— —— —— —— —— — расчетный метод 2—303
—— —— —— —— —— —— —— — статистических испытаний метод 2—303
—— бионическое 2—304; 1—106
—— —— — кибернетическая модель 2—39
—— задач расписаний теории 3—152
—— зазоров в передаче 2—315
—— зоны нечувствительности 2—315
—— импульсных систем на АВМ 2—305
—— кибернетической системы 2—40
—— логики проектируемой ЭВМ 1—19
—— математическое 2—306
—— —— — классификация средств 1—70
—— нервных сетей 2—382
—— операций 1—519
—— полей (электрическое) 2—306
—— —— — моделирующее электрическое сеточное устройство 2—318
—— —— — сплошных сред метод 2—306
—— —— — электрических сеток метод 2—306
—— —— — электролитическая ванна 4—369
——программное в реальном масштабе времени 2—307
—— продольного движения самолета с аппаратурой автопилота 2—314
—— производственных процессов на ЦВМ 2—308
—— процессов перемагничивания ферромагнитных материалов 2—312
—— систем команд и структуры ЭВМ 1—17
—— систем с реальной аппаратурой 2—313
—— системы «человек и автомат» 3—355
—— типичных нелинейностей 2—314
—— траекторий электронов в магнитостатич. полях 4—377
—— условных рефлексов 2—315, 39, 398; 4—149
—— физиологических процессов электронное 2—271
—— физической задачи, схема 2—331
—— функции чувствительности 4—334
—— экономич. системы 1—28
—— электрических и электроэнергетических систем 1—14
—— электрической цепи 2—169
Моделирующая вычислительная техника — см. Аналоговая вычислительная техника
Моделирующее пневматическое устройство 2—317
Моделирующее цифровое устройство 2—318
Моделирующее электрическое сеточное устройство 2—318, 307
Моделирующие установки электронные 3—326
Модель(и) 2—302
—— выработки условного рефлекса 2—39, 398; 4—149
—— геометрическая 2—302
—— грамматические анализирующие 2—161
—— динамическая 2—303
—— «живые» 1—519
—— кибернетическая 2—39
—— континуальные управляющих систем 2—94
—— линий передач 2—303
—— математическая 2—302
—— —— — итерационные методы 1—524
—— матричная 1—28; 4—311
—— народнохозяйственного планирования и экстраполяции экономических показателей статическая 2—255
—— нейронов 2—371, 381; 1—106
—— обучаемого «черного ящика» 4—324, 325
—— обучаемости 2—39
—— объекта, оптимизация режима 2—450
—— операции 4—160
—— планирования производства обобщенная 1—180
—— порождающих грамматик 2—160
—— порождения речи 2—39
—— самонастраивающаяся 3—288
—— —— линейного объекта 3—290
—— самоорганизующейся системы Фэрли и Кларка 1—106
—— сигнала 3—320
—— сложных систем 3—366; 4—161
—— управляемая — см. Модель самонастраивающаяся
—— физическая 2—303
—— «черного ящика» 4—325
—— чувствительности 4—332, 334
—— электрич. сеточная универсальная 2—319
—— электрич. систем цифровая 1—16
—— электрич. системы расчетная — см. Расчетный стол
—— электрокардиограммы 2—271
—— языка 2—40
Модифицированный распределительный метод — см. Потенциалов метод
Модуль (в вычислит. технике) — см. Блок стандартный
Модуль (в электронике) 2—319; 4—373, 385
Модулятор 2—320
—— амплитудный 2—320
—— балансный 2—320; 4—203
—— импульсный 2—321
—— когерентного света фазовый 4—409
—— кольцевой 2—322
—— магнитный 2—225
—— света электрооптический 4—408
—— фазовый 2—323
—— частотный 2—323
—— широтно-импульсный 2—290
Модуляционная характеристика 2—325
Модуляционный шум 4—265
Модуляция 2—324
—— амплитудная импульсная 2—327
—— в телемеханике 2—325
—— —— —— — помехоустойчивость 3—52
—— временная 2—327
—— двойная 2—327
—— двухтактная 2—327
—— дельта-М. 1—307
—— звуковых колебаний 2—325
—— импульсная 2—327, 326
—— —— двойная 2—327
—— кодовая импульсная 2—327, 326
—— комбинированная 2—325
—— многократная 2—327
—— несущей частоты — по частоте 3—143

—— однополосная — см. Передача на одной боковой полосе частот
—— однотактная 2—327
—— отклонением 2—328
—— паразитная 2—325
—— перекрестная 2—325
—— по скорости 2—328
—— поднесущей частоты по амплитуде или частоте 3—143
—— разностно-дискретная 2—326
—— света 3—311; 2—325
—— фазовая 2—328
—— —— импульсная — см. Модуляция временная
—— частотная 2—328
—— —— импульсная 2—328
—— широтная импульсная 2—328
—— яркости 2—325
Мозг как детерминированная машина 1—319
Мозг человека 2—344
—— —— как запоминающее устройство 1—408
Мозговые потенциалы 2—262
Моисеева метод 1—66
Молектроника — см. Молекулярная электроника
Молектронная ЦВМ 4—295
Молекулярная электроника 2—328, 286
— твердая схема 3—470
Молекулярный генератор 2—329, 31, 241
Молекулярный усилитель — см. Квантовая система, Лазер, Мазер
Моментные интегральные оценки 1—469
Моментов метод синтеза оптимальных систем 3—333
—— проблема 3—93
Моменты распределения 1—124
Моноклинная кристаллическая система 2—330
Монокристалл 2—329
— выращивание по Чохральскому 1—181
— —— способом зонной плавки 1—430
— катодное распыление 2—26
— плотность дислокации 2—514
Монокристалл кремния 2—134
—— ферритов 3—23
Моноскоп 4—392
Монотонная энтропийная устойчивость 4—435
Монотонный процесс 2—330
— отклонения площадь 2—461
Монте-Карло метод 2—330, 3—396
— использование при моделировании автоматических систем при наличии помех 2—303
де-Моргана законы 2—191
Морфема 4—443
Морфологический анализ наименований понятий 4—328
—— —— при машинном переводе 2—258
Морфологический синтез наименований понятий 4—329
Мост квазиуравновешенный 2—331
—— нелинейный 2—332
—— переменного тока автоматический 2—332
—— полууравновешенный — см. Мостовые измерения
—— процентный 2—334
—— резонансный 2—334
—— Уитстона 2—335
—— уравновешенный четырехплечевой 2—336
—— Шеринга 1—371
Мостиковый элемент 2—335
Мостовая структура 2—335; 3—134, 261, 271, 444
Мостовая схема 2—335
— экспоненциальные схемные элементы 4—355
Мостовые дистанционные передачи 1—352
Мостовые измерения 2—336
Мостовые удвоители частоты 3—80
Мостовых схем раздельное уравновешивание (на переменном токе) 2—337
Мотонейроны 2—372
Моторное реле времени 3—249
Мощность кода 2—48
Мультивибратор 2—337; 1—306; 3—247, 400
— синхронизация колебаний 3—348
—— ждущий 3—399; 4—103
—— заторможенный 3—399; 4—103
—— на транзисторах 1—218
—— однополупериодный 3—399; 4—103
—— полупериодный 3—398; 4—103
—— с экспоненциальным элементом 4—355
Мультиплицированные схемы 1—325
Мультипрограммирование 2—339; 3—98, 373; 4—175
Мультипрограммная ЦВМ 2—339; 4—295
Муфта(ы) 2—340
— классификация 2—340
— схемы управления 2—343
—— бесконтактные 2—341
—— гистерезисная 2—342
—— конденсаторная 2—343
—— контактные с магнитопроводящими дисками 2—341
—— с гидравлическим управлением 2—343
—— с механическим управлением 2—343
—— с механической связью — см. Муфта фрикционная
—— с электромеханической связью — см. Муфта ферропорошковая
—— скольжения — см. Муфта со связью через поле
—— со связью через поле 2—342
—— ферропорошковая 2—341
—— фрикционная 2—341
—— электромагнитные 4—212
Мыслительной способности усилитель 2—[illegible]
Мышь Шеннона 2—39 — см. Шеннона лабиринт

Н

Набор всевозможных решений 3—429
Наборное коммутационное поле 2—347
Наведение летательных аппаратов в заданную точку пространства или на цель 4—153
—— по лучу 4—153
—— по методу параллельного сближения 4—154
—— по методу преследования цели по кривым погони 4—153
—— по методу пропорционального сближения 4—154
Наведенный ток 1—336
Нагрев индукционный 1—463
—— токами промышленной частоты — см. Индукционный нагрев инакочастотный
Нагревание термоэлектрическое 4—36
Нагревательный индуктор 1—458
Нагрузочная цепь 2—347
Надежность 2—348; 1—122
— контроль Н. на производстве 2—352
— опытное определение характеристик 2—352
— теория 2—348
— — классификация изделий в Т. н. 2—349
— экономич. характеристики 2—350
Надежность в автоматизации производства 1—25
—— восстанавливаемых изделий, характеристики 2—350
—— запоминающего устройства 1—408
—— испытательных программ условная 1—518
—— конденсаторов 2—357
—— контролирующей подпрограммы 1—516
—— машин 2—353
—— невосстанавливаемых изделий, характеристики 2—349
—— передачи информации — см. Передачи информации верность
—— полупроводниковых приборов 2—354
—— при наличии резервирования, расчет 2—351
—— при отсутствии резервирования, расчет 2—351
—— системы телемеханики (системы ТУ—ТС) 2—355, 65
—— сопротивлений 2—357
—— структурная вычислительной или управляющей системы 2—356
—— ЦВМ, оценка 4—304
—— электронной аппаратуры и ее элементов 2—357, 152, 349
—— —— —— —— —— —— — тропикализация 4—106
—— ЭВМ, стоимость 4—352
—— электронных машин, задача о повышении Н. посредством рациональной системы дублирования отдельных блоков 2—256
Надувная антенна 1—92
Наименьших квадратов метод 2—427
Найквиста критерий 2—359; 1—65
Найквиста формула 4—267
Накала цепь 2—360
Накладной катушки метод (в дефектоскопии) 1—321, 444
Накопители на линиях задержки 4—246
Накопитель 2—360 — см. также Запоминающее устройство
— емкость — см. Емкость запоминающего устройства
Накопитель внешний — см. Запоминающее устройство внешнее
—— констант 1—412
—— односторонний 2—361 — см. также Запоминающее устройство долговременное
—— оперативный — см. Запоминающее устройство оперативное
—— промежуточный — см. Запоминающее устройство буферное
—— —— —— 1—412
—— стандартных программ и констант 1—412
Накопительная трубка — см. Запоминающая трубка
Накопительный блок запоминающего устройства 1—409
Накопление возмущений 2—361
—— опыта в машине 2—399
—— отклонений — см. Накопление возмущений
Накопления метод повышения помехоустойчивости 3—49
Наладка электронных цифровых машин 2—361
— предварит. осмотр и подача питания 2—361

Наладка электронных цифровых машин аварийная 2—362
—— —— —— —— автономная 2—361
—— —— —— —— комплексная 2—361
—— —— —— —— первичная 2—361
—— —— —— —— профилактическая 2—362
—— —— —— —— стендовая (выносная) 2—361
Наложения принцип — см. Суперпозиции принцип
Намагничивания основная кривая 2—221
Направленная антенна 1—91
Направляющая подпрограмма 3—96
Напряжение виброшумов ламп 2—152
—— зажигания разряда 3—299
—— опорное 2—423; 1—521
—— пилообразное — см. Генератор развертки
—— помех 2—176
—— прокола 2—362
—— шумовое 4—343
Напряжения делитель — см. Аттенюатор
—— ограничитель 2—410
—— регулирование групповое 1—273
—— регулятор 3—214
—— —— подмагничиваемый 3—215
—— —— электромагнитный 3—215
—— —— электронный 3—219
—— стабилизаторы 3—405—412
Наработка на отказ ЦВМ 4—304, 306
Нарастания время 2—362
Наследственная информация 1—476; 2—35
Насос 2—363
Настройка параметров с помощью функций чувствительности 4—335
—— регулятора 2—363
—— стандартной подпрограммы — см. Конкретизация стандартной подпрограммы
Настройки характеристика 2—363
—— шкала 4—340
Насыщения ток 1—336; 2—383, 398
Натуральная единица информации 1—478
Натуральный ряд 3—246
Научно-исследовательские учреждения и проектно-конструкторские организации 2—364
Научно-технической информации обработка 2—365; 4—312
Начальные значения 2—368
Начальные условия — см. Начальные значения
Начальные условия в АВМ 2—369
«Не» схема 1—193, 452; 2—205; 4—431
Неавтономные системы 1—172
Неарифметическая система кодирования 2—49
Небайесовская ситуация 1—486
Невозмущенное движение 2—369
— устойчивость 2—209; 4—220
Невосстанавливаемые изделия 2—349
Невязки условий 2—172
Негэнтропийный принцип Бриллюэна 4—437
Недопустимое состязание 2—370; 3—273
Независимых посылок метод 4—16
Незатухающие колебания 2—370
Неиспользуемое состояние релейного устройства 2—370
Неймана — Пирсона критерий 2—429; 3—48, 88, 430
Нейристор 2—370
Нейронные сети — см. Нервные сети
Нейронов модель 2—371, 381; 1—106
Нейроны 1—44, 105, 408; 2—36
—— самонастраивающиеся 2—276
Нейтрализация 2—373
Нейтральный объект по s координатам $x_1, \ldots, x_s$ 2—374
Нейтронные потоки, использование 3—136
Некогерентный случайный процесс 2—127
Нелинейная система 2—374; 4—168
— автоколебания 1—10
— автоколебательный режим 1—10
— анализ, частотный метод 4—322
— аппроксимации метод исследования 1—94
— асимптотические методы исследования 1—97
— гармонического баланса метод 1—211
— динамический расчет 1—332
— кусочно-линейная характеристика 2—142
— линеаризация 2—163
— —— статистическая 2—164
— малого параметра метод 2—243
— моделирование при наличии помех 2—303
— переходный процесс — см. Анализ переходных процессов
— переходных процессов построение 2—492
— периодический режим 2—492
— припасовывания метод изучения 3—92
— синтез 3—326
— стабилизация 3—415
— стационарный режим 3—435
— точность, исследования методы 4—61
— устойчивости областей выделение 4—218
— —— технической теории движения 4—219
— устойчивость — см. Анализ устойчивости систем
— энергетического баланса метод 4—434
Нелинейная система динамическая 4—226, 227
—— —— —— — статистический анализ точности 3—428
—— —— как автоколебательное звено 1—10
—— —— как псевдолинейная 3—112
—— —— консервативная 2—87
—— —— приводимая к линейной, оптимизация 4—63
Нелинейная управляемая модель 3—288
Нелинейное звено 2—376
Нелинейное программирование 2—376, 255
— задача выбора рациональной системы допусков 2—377
— задача химического равновесия 2—377
— невыпуклых задач решение 2—378
— —— —— —— сведением к задаче о безусловном экстремуме 2—378
— —— —— —— —— —— —— —— —— —— —— ображным методом 2—378
— —— —— —— —— —— —— —— —— —— тяжелого шарика методом 2—378
— —— —— —— сведением к целочисленному линейному программированию 2—378
— —— —— —— совмещением методов выпуклого программирования со случайным поиском 2—378
— оптимальности необходимый признак 2—378
— размещения задача 3—144
Нелинейность 2—378
—— дополнительная 2—379
—— типичная, моделирование 2—314
Нелинейные искажения 2—379, 9; 3—45
— клирфактор 2—43
Нелинейные искажения в детекторе 1—312
—— —— магнитной записи 2—215
Нелинейные свойства диэлектриков 3—310, 311
Нелинейные эффекты в акустическом поле 2—379
Нелинейный решающий элемент АВМ 2—380; 1—72
Нелинейный фильтр 4—253, 263
Ненормализованное число 1—415
Необучающиеся бионические машины 2—305
Необходимого разнообразия закон 2—346
Неоднозначность релейной характеристики 2—380; 3—260
Неоновая лампа 1—207; 4—344
Неопределенность опыта 1—478
— энтропия 4—435
Неосновные носители заряда — см. Электропроводность полупроводника
Непер 1—332 — см. также Логарифмические единицы усиления и ослабления
Непериодические колебания 2—61
Непланарная структура — см. Пространственная структура
Неплоская структура — см. Пространственная структура
Неподвижные точки точечного преобразования 4—58
Непозиционная система счисления 3—8
Непрерывная зависимость 2—380
Непрерывная случайная последовательность 1—123
Непрерывные ткани 2—356
Непрерывный вероятностный процесс 1—123
Непрерывный сигнал 2—380; 4—41
Неприводимые системы 2—397
Непротиворечивость формальной системы 2—185, 188
Неравномерная структура команд 3—440
Неравномерности коэффициент — см. Неравномерности степень
Неравномерности степень 2—381
Нервная система 1—105
— моделирование функций 2—273
Нервные сети 2—381, 86
Несамостоятельный разряд 2—382; 1—389; 3—147, 298
Несмещенная оценка 3—425
Нестабильность параметров полупроводниковых приборов 3—38
Нестационарный процесс — см. Переходный процесс
Нестационарный разряд 3—150
Нестационарных полей контроль 2—383
Несущая частота 2—384
Неупругие столкновения 1—497
Неустановившийся режим 2—384
Неустойчивое состояние внутреннее (релейного устройства) 2—384; 3—273
Неустойчивость 2—385
Нефелометр 2—385
Нечувствительность 2—385
— зона нечувствительности 1—430
«Ни...ни» элемент 2—207
Низковольтная дуга 1—389
Низкотемпературный пробой 1—499
Никель, магнитострикционные свойства 2—238
—— электролитический 2—228
Номерная адресная система 1—487
Нормализации принцип 2—385, 386
Нормализованное число 2—386, 254; 1—415
Нормальная форма представления числа 2—386
Нормальные алгоритмы Маркова 2—386; 1—57
— челночные алгоритмы 4—324
Нормальные формы 1—54; 3—271
Нормированная дисперсионная функция 4—331
Носитель информации 2—386; 3—191

— маркер 2—247
— перезаписывающее устройство 2—482
—— магнитный 2—227, 215
Нувистор 2—387, 156
Нулевой метод — см. Компенсационный метод
Нулевые биения 1—155
Нульадресная структура команд 3—440
Нуль-индикатор 2—388
—— фазочувствительный 4—235
Нуль-орган 2—388
Нультермостат прецизионный 4—34

О

Обегающего цифрового контроля машина 2—390, 104; 1—24
— порядок опроса величин 3—56
Обегающий контроль 2—98, 97
Обегающий переключатель 2—424
Обедненный слой 2—392; 1—392
— инжекция в О. с. 1—468
Обменная подпрограмма 3—96
Обнаружение изменений на объекте автоматическое 3—477
—— сигналов 1—485; 2—129; 3—88; 4—64
Обновление памяти 2—392
Обобщенные языки программирования 4—445
Обобщенный портрет 2—393
Обогащенный слой 2—392
Обозначений электронных приборов система 4—399
Обработка научно-технической информации 2—365
Обрабатывающая подпрограмма 3—97
Обработка, лучевые способы 4—422
—— анодно-механическая 1—88
—— в среде проточного электролита 4—422
—— магнитоимпульсная 4—422
—— материалов размерная электрофизическая и электрохимическая 4—422
—— ультразвуковая 4—126, 130
—— шерсти тлеющим разрядом 4—404
—— электроалмазная 4—422
—— электрогидравлическая 4—364, 422
—— электроимпульсная 4—366
—— электроискровая 4—366
—— электроконтактная 4—367
—— электроннолучевая 4—388
—— электрофизическая 4—422
—— электрохимическая 4—422
—— электроэрозионная 4—430, 422
Образ для кибернетической системы А 2—393; 4—112
Образцовые приборы 1—446
Обратная афферентация 2—394
Обратная диффузия 2—393
Обратная связь 2—394, 35; 4—149
—— —— в биологических системах 2—396
—— —— в смешанных системах 2—397
—— —— в технических системах 2—395
—— —— гибкая 2—394; 3—211, 224
—— —— главная, сигнал 1—270
—— —— глубокая 2—396
—— —— жесткая 2—394; 3—212
—— —— замедленная 3—213
—— —— изодромная 1—446; 3—197
—— —— корректирующая 2—394
—— —— отрицательная 2—394
—— —— паразитная 2—467
—— —— —— — нейтрализация 2—373
—— —— положительная 2—394
—— —— решающая 4—12, 14
Обратное зажигание в вентильных преобразователях 1—421
—— —— в ртутном вентиле 3—283, 285
Обратное напряжение перехода 2—397
Обратный ток коллектора — см. Транзистора параметры
—— —— перехода 2—398
Обращения к подпрограммам 1—104; 3—7
Обрыв дуги 2—488
Обслуживание клиентов 3—365
Обслуживания системы 2—250
—— —— с неоднородным входящим потоком 2—250
—— —— с ожиданием 2—250
—— —— с потерями 2—250
—— —— смешанные 2—250
Обучаемая машина 2—398; 4—112
Обучаемая система 3—295
Обучаемые системы распознавания печатных знаков 3—160
Обучающая машина 2—401
— обучение навыкам 2—402
— обучение фактам 2—401
— опыт применения 2—404
— программирования методы 2—401
— результаты экспериментов 2—401
Обучающая последовательность 3—155
Обучающая система 3—295
Обучающаяся матрица Штайнбуха 2—316
Обучающие таблицы 3—295
Обучающиеся машины 1—122
— Шеннона лабиринт 4—337
—— —— бионические 2—305
Обучающий автоматизированный класс 2—406
Обучающий комплекс 2—407
Обучающийся регулятор 2—399
Обучение распознаванию методом потенциальных функций 4—113
—— —— методом разделяющих плоскостей 4—113
Обучения автоматического системы 3—295
—— процессы в живых организмах 1—106
—— теория 1—519
Общая минимальная форма недоопределенной логической (булевой) функции 2—409
Обще-рекурсивная функция 3—246
Объединение алгоритмов 1—59
—— подпрограмм 1—103
—— слов 2—83
Объединенные следящие системы 3—86
Объект без самовыравнивания 3—287
—— инерционный 4—358, 361, 362
—— j-го ранга 3—461
—— приведенный 3—86
—— регулирования 2—426
—— управляемый 4—166, 357
Объекта характеристика 2—409
Объем кода 2—48
——сигнала 3—320
Объемная рекомбинация ионов 3—149
Овражный метод 2—378
Огибающая амплитуд — см. Огибающая сигнала
Огибающая сигнала 2—409
Ограниченное воздействие по модулю 2—410
Ограничивающий элемент релейного устройства 3—262
Ограничитель амплитуды 2—410
—— напряжения — см. Ограничитель амплитуды
Одноадресная машина 2—411, 490; 1—49; 4—295
Одноадресная структура команд 3—440
Одновибратор — см. Мультивибратор
Одноемкостное звено — см. Апериодическое звено
Одноместные предикаты 2—181
Однонаправленная цепь 2—411
Однополосная модуляция — см. Передача на одной боковой полосе частот
Односторонний накопитель — см. Запоминающее устройство долговременное
Одноступенчатая организация системы ЗУ машины с использованием непрямой адресации 3—107
ОЗУ — см. Запоминающее устройство оперативное
«Окна прозрачности» атмосферы 1—495
Оконечная ступень 2—412
Оксигемометрия 2—267
Октод 2—412, 152
Операнд 2—412
Оперативная память адресная 3—107
—— —— малая сверхбыстродействующая 4—355
Оперативный накопитель — см. Запоминающее устройство оперативное
Оператор (профессия) 1—482; 3—111, 113, 117
— информации представление 1—482
Оператор арифметический 1—304; 2—202, 415
—— варьирующий 1—304; 2—461
—— восстановить 4—444
—— восстановления 1—158, 304; 2—63, 202, 415
——, зависящий от параметров 2—412
—— засылки 1—417, 159, 172
—— кобола 2—46
—— логический 1—304; 2—202, 415
—— логической схемы 2—413, 196, 200
—— —— —— — комплекс 2—79
—— начала 2—202
—— нестандартный 3—104
—— обращения к группе операторов 2—202
—— обращения к подпрограмме 3—7
—— останова 2—202
—— переадресации 1—158, 304; 2—63, 202, 415, 476; 3—103
—— переноса 2—202
—— предохранить 4—444
—— стандартный 2—414; 3—103
—— счета 1—171
—— формирования 1—304; 2—63, 202, 415
Операторная схема 3—455
Операторные языки 4—446
Операторный метод программирования 2—415; 3—98, 131
— логическая схема программы 2—202
Операторы алгола 1—56
—— одного типа 3—103
—— программы 2—416; 1—17
—— —— — составление описаний 1—304
—— —— обобщенные 2—416
—— —— элементарные 2—416
—— фортрана 4—272
Операции, вопросы оптимальной организации 1—519
— исследование 1—518
— моделирование математическое 1—519
Операции дешифратор в вычислит. технике 2—416; 3—190; 4—174

Операций совмещение (в машине) 3—373
—— ускорение 4—214
Операционная часть команд 2—63; 3—440
Операционное устройство ЭЦМ 2—195
Операционность системы команд ЦВМ динамическая 2—63
—— —— —— —— статическая 2—62
Операционные элементы ЭВМ 2—195
Операционный спектр системы команд ЭЦМ 2—62
Операционный усилитель 2—416; 4—203
— входной преобразователь 1—167
— дрейф нулевого уровня 1—380
—— —— магнитный 2—420
—— —— полупроводниковый 2—419
Операция арифметическая 1—94
—— взятия наименьшего числа 3—247
—— Г — см. Пирса операция
—— групповая 1—273
—— машинная 2—421
—— машины логическая 2—198
—— —— элементарная 2—63
Опережающая цепь 2—422
Опережающий анализ с применением АВМ 1—83
Опережение фазы 2—422
Опережения звено 2—422
ОПМ — см. Передача на одной боковой полосе частот
Опознавание образов — см. Распознавание образов
Опознавания программы Бравермана и Бонгарда 1—106
Опорное напряжение 2—423
Опорный диод — см. Стабилитрон кремниевый
λ-Определимость 4—325
Определители роли в информационно-поисковом языке 2—367
Опрос величин 2—423
— частота 4—315
Оптика волоконная 2—424
Оптимальная дискретизация 4—438
Оптимальная линейная фильтрация 4—252
Оптимальная надежность 2—351
Оптимальная настройка регулятора 2—363
Оптимальная организация операций (при конструировании самообучающихся автоматов) 1—519
Оптимальная передача сообщений, проблема 1—484; 4—339
Оптимальная система наилучшего выделения полезного сигнала из смеси сигнала с шумом 2—129, 428
Оптимальная структура фильтра электрического 4—260
Оптимальная фильтрация 1—486; 2—428; 3—86; 4—252
Оптимального графика снабжения задача 2—472
Оптимальное значение в системах автоматического регулирования 2—431
Оптимальное народнохозяйственное планирование 2—256
Оптимальное обслуживание 2—250
Оптимальное планирование 1—28, 295
Оптимальное поведение — см. Оптимальное управление
Оптимальное предсказание 3—63
Оптимальное программирование 1—297; 2—298; 4—103
Оптимальное размещение производства 1—333; 3—144
Оптимальное распределение функций между человеком и автоматом 3—354, 366
Оптимальное управление 2—431, 242; 1—34, 333; 4—169
— критерий (и) 2—425
—, —— регулярный 2—426
— —— статистические 2—426
— реализация 3—290
Оптимальное управление летательным аппаратом 4—156
—— —— на расстоянии 4—6
—— —— предприятием 2—453
—— —— электроприводом 2—434
—— —— —— постоянного тока 2—435
—— —— —— с асинхронным двигателем изменением частоты питающего напряжения 2—436
Оптимальное управляющее устройство 4—187
Оптимальные значения ф-ций многих переменных, методы нахождения 1—185
Оптимальные системы (в статистическом смысле) 2—436, 433; 4—61, 187
— коррекция параметров системы автоматич. 2—74
— критерии оптимального управления 2—427
— максимума принцип 2—241
— синтез 3—328, 337, 326
— теории 1—386
—— —— в минимаксном смысле 2—433
—— —— —— —— —— —— — синтез 3—344
—— —— для наилучшего учреждения (экстраполяции) и интерполяции полезного сигнала 2—428
—— —— линейные 2—242
—— —— по быстродействию 2—431
—— —— —— —— — синтез методом фазового пространства 3—328
—— —— равномерно-оптимальные 2—433
—— —— с конечной памятью 2—437
—— —— с несколькими воздействиями 3—362
Оптимальные стратегии 2—437; 1—387, 434
Оптимальные условия труда, создание 4—438
Оптимальный переходный процесс 2—242
Оптимальный план перевозок и обработки 4—89
Оптимальный план производства и оценка используемых при этом производственных факторов 1—295
Оптимальный прием 1—122; 3—48
—— —— в ТИ 3—51
—— —— в ТУ 3—54
Оптимальный приемник 3—48, 88; 4—318
Оптимальный процесс по быстродействию 2—438
— следящая система быстродействующая 3—360
Оптимальный режим радиопередатчика 3—136
Оптимальный фильтр 4—251, 356; 2—129, 428; 3—48
— определение параметров 3—291
Оптимизатор автоматический многоканальный 2—442; 3—326
—— —— —— дискретный 2—444
Оптимизатор автоматический одноканальный 2—440; 1—23
—— —— сканирующий 3—14
—— глобальный 2—445
—— корреляционный 1—481
—— со случайным поиском 2—399
Оптимизации автоматической системы 2—37; 3—297
— применение обратной связи 2—396
Оптимизации система на реальном объекте 2—446
—— —— дискретного действия 2—449
—— —— для сушки 3—451
—— —— на модели 2—450
—— —— непрерывного действия 2—450
Оптимизация системы автоматического управления по точности 4—61
Оптимизация структуры в телемеханике 4—6
Оптическая спектроскопия 3—393
Оптические приборы, разрешающая способность 3—146
Оптический канал связи 2—19
Оптический квантовый генератор — см. Лазер
Оптический метод измерения поглощения ультразвука 1—442
—— —— —— скорости ультразвука 1—444
—— —— исследования ультразвуковых полей 1—521
Оптический резонатор 3—310
Оптический телефон 1—497
Оптическое перекачивание атомов 2—237
Оптическое реле 3—254
Оптрон 2—451
— триггерные свойства 2—452
Опыт, информации количество 1—478
Орган сравнения — см. Сравнивающее устройство
—— управления — см. Управляющее устройство
Организация кибернетической системы 2—40
—— программы 2—452
—— управления производством 2—453
Органы чувств, динамический диапазон 1—332
Ориентация кристалла 2—456
Ортикон 2—457, 480; 4—392
Осадительные электроды электрофильтров 4—424
Ослабитель — см. Аттенюатор
Основание кода 2—48
Основной вход 2—457
Основные носители заряда — см. Электропроводность полупроводника
Особые точки динамической системы 2—27
—— —— на фазовой плоскости 3—141
Особые траектории на фазовой плоскости 3—141
Останов 2—457
—— аварийный 1—9
—— заданный 2—457; 3—190
Островковый эффект 3—434
Осциллограф 2—457
— электрофотографич. приставки 4—430
—— как частотомер 4—323
—— шлейфовый 2—457; 1—170
—— электронный 2—458
—— электрофотографический 4—430
Осциллографическая трубка 2—459; 4—392
Осциллоскоп электронолучевой 2—269
Осязательные сигналы информации 1—482
Отказ в передаче информации (в системе телемеханики) 2—355
—— изделия 2—348
—— транзисторов 4—68
Отказы электровакуумных приборов 2—357
Отклонение выборки значимое 3—427
—— накопленное 2—361
—— регулируемой величины максимальное 2—26
—— среднее абсолютное 4—331
—— —— квадратичное 4—330
—— —— —— стандартное 2—460
—— электронного пучка 4—374
Отклонений область допустимая 2—461
Отклонения площадь 2—461
—— принцип 4—167
Отладка программы 2—461

Отладочные тесты 4—39
Отлаживающая программа 2—462
Относительная влажность 1—137
Отношение правдоподобия 3—49, 88, 430
—— сигнал/помеха 2—462, 479; 3—390
—— —— запоминающих элементов 4—246, 247
—— сигнал/шум 3—48
Отображения устройство 2—463; 4—283
Отождествления абстракция 2—182
Отпускание релейного элемента 3—268
Отрицание 2—187; 4—340, 431
—— высказывания 1—52
—— поразрядное 2—198
—— равнозначности 1—293; 3—401
—— —— — операция машины 2—199
—— эквивалентности 1—52
Отставание фазы 2—465
Офитрон 2—465
Офтальмоскопия 2—267
Охлаждение термоэлектрическое 4—36
Оценка, точность 3—426
—— достаточная 2—428
—— интервальная 3—426
—— качества 2—26
—— максимального правдоподобия 3—425
—— несмещенная 3—425
—— параметров сигнала 3—87
—— сигнала 2—437
—— смещенная 3—426
—— состоятельная 3—425
—— точечная 3—425
—— эффективная 2—428; 3—425
Оценки статистические 3—425
Очистка ультразвуковая 4—122
Ошибка выхода системы автоматич. управления 4—58
Ошибка динамическая 1—328; 4—59
—— от помех в системах ТИ 3—51
—— регулирования 3—204
—— систем автоматического управления 4—59
—— средняя квадратичная 2—465; 4—168
—— статическая 3—431, 197; 4—59
—— телеизмерения — см. Погрешность телеизмерения
—— установившаяся 4—216
Ошибки сигнал 2—465
—— уравнение 2—465
Ошибки в работе ЦВМ, программа анализа сбоев 3—95
—— от помех 3—48
—— —— —— в системах телеизмерения 3—51
—— решения 3—5

П

Пайка при индукционном нагреве 2—466
—— ультразвуковая 4—124
Пакет ошибок 2—53
«Паллас» (вычислит. машина) 4—298
Памяти зона в ЦВМ 1—430
—— многоступенчатая система 2—299
—— обновление 2—392
—— распределение 3—162
—— состояние 2—413
—— элемент в вычислит. технике 3—108; 4—245, 246, 247, 431
—— —— в технических моделях 2—316
—— —— на твисторе 3—472
—— элемент как тиратрон логический 4—50
—— ячейка 4—446; 1—408; 2—195, 203, 413
Память (логический элемент) 2—205, 208
Память, абстрактное определение и конкретные истолкования 2—413
—— ассоциативная 3—99
—— величин 2—414
—— виртуальная 3—107, 373
—— диодно-конденсаторная 4—246
—— оперативная адресная 3—107
—— оперативная малая сверхбыстродействующая 4—355
—— параллельно-ассоциативная 3—99
—— параметров 2—414
—— последовательно-ассоциативная 3—99
—— сигналов 2—414, 421
—— системы конечная 2—437; 3—339
—— у живых организмов, исследование для создания технич. устройств 1—106
—— ферритовая 4—240
—— ферроэлектрическая 4—247
—— ЦВМ 2—203
—— человеческая 4—247
—— ЭЦМ 2—195, 421
Пандемониум 2—467, 393, 400; 1—106
Пара двойственных задач 1—295
Параболическая антенна 1—91
Парадоксы теории множеств 2—188, 191
Паразитная генерация на СВЧ 2—467
Паразитная связь 2—467
— нейтрализация 2—373
—— —— гальваническая 1—209
Параксиальные электроны 4—377
Параллельно-ассоциативная память 3—99
Параллельного действия машина 2—467; 1—408; 4—295
Параллельно-последовательная структура 2—468, 335; 3—261
Параллельно-последовательного действия машина 2—468; 4—295
Парамагнитный усилитель квантовый 2—469, 31, 240; 4—206, 207
Параметр потока отказов 2—350; 3—279
—— распределенный 2—469
—— системы 2—469
—— сосредоточенный 2—469
Параметра область 2—469
Параметрический диод 1—339
— шумы 4—266
Параметрический резонанс 3—238
Параметрический стабилизатор 3—402, 410
Параметрический усилитель 2—469; 4—207, 267
Параметрических полей контроль 2—383
Параметрическое программирование 2—472, 255
Параметров пространство 3—109
Параметрон 2—473; 3—238; 4—245—247
Параметры движения, определение по результатам наблюдений 2—28
—— управления 2—255
Парафазный усилитель — см. Инверсный каскад
Параэлектрическое состояние 1—92
Пашена кривые 3—299
Пельтье эффект 4—34
Пеннинга эффект 3—299
Пентагрид — см. Гептод
Пентод 2—474, 156
— внутреннее сопротивление 3—434
— емкость выходная 1—393
— —— проходная 1—395
— коэффициент усиления 3—434
— крутизна характеристики 3—434
— проницаемость 3—434
— сопротивление внутреннее 3—379
— статические характеристики 3—434
— эквивалентное сопротивление внутриламповых шумов 4—264
Пентод миниатюрного типа 2—148; 4—206
—— с переменной крутизной 2—155
—— стержневой прямонакальный 2—475
—— широкополосный 2—474
Пентоды — усилители высокочастотные 2—152
Первичного тока закон 3—187
Первого приближения метод 2—475; 1—65
Переадресации признак 2—476
Переадресация команд ЦВМ 2—476; 1—158
Перебора многостепенного способ выбора значений функции из таблицы 3—465
Перебора способ выбора значений функции из таблицы 3—465
Перевод чисел из одной системы счисления в другую 2—477
Передаточная функция 2—478; 3—85
Передаточный коэффициент — см. Усиления коэффициент
Передача на одной боковой полосе частот 2—478
—— сообщений 1—484; 4—338
Передачи информации в телемеханике эффективность 4—440; 2—55; 3—55
—— —— верность 2—478
—— —— скорость 1—483
Передающая камера 3—475
Передающая телевизионная трубка 2—479; 3—475; 4—392
Передающее развертывающее устройство 3—476
Перезаписывающее устройство 2—482
Переключатель — см. Коммутатор
—— диодный 1—340
—— обегающий 2—424
—— четырехслойный 2—483
Переключательная матрица 2—484
Переключательная функция 4—431
Переключающее устройство 2—484
Переключающие блоки 2—208
Переключающие элементы 4—245
Перекодирование в телемеханике 2—56
Переменная длительность такта вычислит. машины 2—485; 3—469
Переменные высказывания 1—51
Перемножающее устройство (аналоговое) 2—486, 518
Перенапряжения в вентильных установках 2—488
Перенос из ячейки 2—196
Переполнение разрядной сетки машины 2—253, 50, 52
— проверка 2—199
Переполнения признак 2—489
Перерегулирование 2—489, 26
Пересчетная схема формирователя такта 4—271
Пересчетная схема формирователя такта 4—271
p—n-Переход — см. Электронно-дырочный переход
Переход безусловный 2—490; 1—50
—— непрямой (электронов) 1—143
—— прямой (электронов) 1—143

—— условный 2—490, 208; 1—50
Переходная составляющая 4—216
Переходная функция 2—490; 1—331, 392, 481; 3—189; 4—102
Переходная характеристика 2—491
Переходное затухание 2—176
Переходные процессы адаптации 3—294
Переходный процесс 2—491, 170; 3—325
— анализ 1—63
— демпфирование управляемое 1—309
— качества оценка 2—26
— —— показатели 2—26; 3—402
— монотонное протекание 2—330
— отклонений область допустимая 2—461
— отклонения площадь 2—461
— перерегулирование 2—489
— период разгона 2—492
— распределения корней метод 3—162
— регулирования время 3—202
— точечного преобразования диаграмма 4—58
— точность динамическая САР 4—64
— трапецеидальных частотных характеристик метод 4—101
— условия конечной длительности — см. Устойчивости бесконечной степени условия
— частотная характеристика обобщенная 4—316
Переходный процесс оптимальный 2—242
—— —— при воспроизведении 1—156
Переходных процессов анализ 1—63
Переходных процессов построение 2—491
— припасовывания метод 3—92
— трапецеидальные характеристики 4—320
— частотный метод 4—320
Переходов диаграмма 2—492; 1—319
Период разгона 2—492
—— рефрактерности 2—94
—— спонтанной активности 2—94
Периодическая функция 2—61
Периодические колебания 2—61
Периодический режим 2—492
Периодическое движение 2—493
— устойчивость 4—222
Периодичности условие 2—493
Пермаллой 2—238
Перматрон 1—503
Пермендюр 2—238
Персентрон 2—493, 397, 36, 393; 1—106; 4—114, 313
Персистор 2—137
«Перт» 2—493
«Перт-время» 2—494
«Перт-стоимость» 2—494
Перфоратор 2—494; 1—30
Перфораторный метод регистрации 3—194
Перфорационная вычислительная машина 2—496; 1—30, 185
Перфорационная карта 2—496, 387, 388; 1—479
— расшифровывающая машина 3—184
— сортирование 3—158, 383
Перфорационная лента 2—497, 387, 388
Петля затягивания (частоты) 1—418
Печатающее устройство (в вычислит. технике) 2—498
Печатная схема 2—499; 3—438
Печатные методы регистрации 3—193
Печатные проводники 2—499
Печатный монтаж — см. Печатная схема
—— —— УСЭППА 4—223
Печать на расстоянии 4—413
—— электрическая 4—409
Пик-вольтметр 2—500, 160
Пик-генератор 4—233
Пик-дроссель 4—234
Пик-трансформатор 2—500
Пилообразное напряжение — см. Генератор развертки
Пирометр 4—21, 22, 23
—— интегральный фотоэлектрический 2—505
—— оптический 2—501; 4—23
—— —— радиометрический 2—502
—— —— фотометрический 2—501
—— —— фотоэлектрический 2—502
—— радиационный 2—503; 4—23
—— —— болометрический 2—504
—— —— механический 2—504
—— —— рефлекторный 2—504
—— —— термоэлектрический 2—504
—— —— электрический 2—504
—— спектрального отношения — см. Пирометр цветовой
—— цветовой 2—505; 4—23
—— цветояркостный 2—506
—— частичного излучения — см. Пирометр оптический
—— яркостный — см. Пирометр оптический
Пирометрический зонд 4—19
Пирометрия 4—18
Пирометр-пироскоп калориметрический 4—22
Пироскоп керамический 4—22
Пироэлектрический сепаратор 4—418
Пироэлектрический эффект 4—417
Пирса операция 2—205; 4—431
Пирса стрелка — см. Пирса операция
Питатель 2—506
—— весовой 2—507
—— —— для жидкостей 2—508
—— объемный 2—507
Плавильный метод регистрации 3—194
Плазматрон 1—503
Плазменные магнитоуправляемые полупроводниковые приборы 3—32
Плазменный генератор 1—503
Плазменный механизм передачи энергии (при рекомбинации) 3—245
Плазменный усилитель 1—503
Плазменный фазовращатель 4—228
Плана целевая функция 4—286
Планарная структура — см. Плоская структура
Планарные полупроводниковые приборы 2—510
Планарный транзистор 4—67, 71, 73
Планирование застройки новых районов, задача выбора соотношения между домами различного типа 4—287
—— операции 4—158
—— оптимальное 1—28
Планирования производства задача 1—180; 2—170, 473
Планирования эвристический метод 4—348
Платеж 2—509
Платежная матрица 2—293
Платежная функция 2—438, 509
Платинотрон 2—509; 4—207
Платион 2—157
Пленки германиевые 2—510
—— кремниевые 2—510
—— полупроводниковые 2—510; 4—71
—— эпитаксиальные — см. Пленки полупроводниковые
Пленочная микросхема 2—291, 284, 287
Пленочные сопротивления 2—292
Пленочный конденсатор 2—292
Пленочный криотрон 4—247
Плетизмограф емкостный 2—265
Плоская структура 2—511
Плоскость параметров 3—109
Плотномер аэродинамический 2—514
—— весовой 2—513
—— газовый 2—512
—— гидростатический 2—511
—— —— мембранный 2—511
—— —— пьезометрический 2—511
—— двухпоплавковый 2—512
—— поплавковый 2—512
—— —— пневматический 2—512
—— радиоизотопный 2—513; 3—135
—— цепочковый 2—512
Плотности измерение автоматическое 2—513
Плотность вероятности 1—123
—— дислокации 2—514; 3—27
—— записи 1—394
—— запоминания запоминающих элементов 4—246, 247
—— распределения 1—480
—— спектральная 1—480
Плюс-минус взаимодействие 2—394
Пневматическая агрегатная унифицированная система 1—47
Пневматическая длинная линия 1—372
Пневматическая камера 2—7
Пневматическая система дистанционного измерения 1—356
Пневматические устройства, воздухоподготовка 1—147
— проточный элемент 3—110
Пневматический блок запаздывания 2—514
Пневматический вторичный прибор 1—167
Пневматический датчик давления 1—278
—— —— размеров 1—282
Пневматический дифференциатор 1—364
Пневматический дроссель 1—383, 191
Пневматический задатчик 1—399
Пневматический инвертор 1—456
Пневматический интегратор 1—470
Пневматический коррелометр 2—125
Пневматический мембранный исполнительный механизм 2—516
Пневматический поплавковый плотномер 2—512
Пневматический поршневой исполнительный механизм 2—516
Пневматический регулятор 3—221
—— —— температуры 3—229
Пневматический решающий усилитель 3—280; 1—190
Пневматический сумматор 2—517; 1—191
Пневматический тензометр 4—26
Пневматический функциональный преобразователь 2—518
Пневматический штекер 2—519
Пневматический эжектор 4—350
Пневматическое вычислительное устройство непрерывного действия 1—190
Пневматическое моделирующее устройство 2—317

Пневматическое реле с элементом сопло-заслонка 3—254
Пневмоавтоматика, УСЭППА 4—223
Пневмогидравлический аккумулятор 1—259
Пневмогидропривод 1—261
Пневмоденсиграфия 2—266
Пневмоника — см. Струйная техника
Пневмопривод вибрационный 2—519
—— поршневой автоматизированный 2—520
—— —— —— длинноходовой 2—520
—— —— —— короткоходовой 2—520
—— следящий поршневой 2—520
Пневмораспределитель — см. Распределитель сжатого воздуха
p—n-переход — см. Электронно-дырочный переход
Поваренная соль 3—22
Поварова Г. Н. метод синтеза релейных устройств 3—336
Поверхностная волна в волноводе 1—151
Поверхностная закалка при индукционном нагреве 2—521
Поверхностного рельефа метод в ультразвуковой дефектоскопии 1—130
Поверхностный эффект 2—522, 174
Поверхность скольжения 3—357
Повторение в структурном резервировании 3—234
—— при конструировании алгоритмов 1—60
Повторитель входных сигналов 2—205, 206
Повторно-кратковременный режим электрического аппарата 2—523
Погрешности аналоговой вычислительной машины 1—79
Погрешность в САР 2—523
—— динамическая при измерении 1—328
—— дискретности 2—523
—— дополнительная 1—379
—— измерения 2—523
—— —— абсолютная 2—523
—— —— допустимая 2—525
—— —— инструментальная 2—524
—— —— личная 2—524
—— —— методическая 2—524
—— —— остаточная 2—524
—— —— относительная 2—523
—— —— периодическая 2—524
—— —— постоянная 2—524
—— —— предельная 2—524
—— —— прогрессивная 2—524
—— —— систематическая 2—523
—— —— случайная 2—524
—— —— средняя квадратическая 2—524
—— —— температуры 4—19, 20
—— измерительного прибора 2—42
—— решения 3—5
—— телеизмерения 3—5
—— тока измерительного трансформатора 4—96
—— трансформатора измерительного угловая 4—96
Подавление автоколебаний 3—5
Подвижности степень 3—6
Подвижность носителей заряда в полупроводниках 3—6, 21
—— частиц при разряде в газах 3—148
Подкачка в квантовой системе 2—31, 144
Поднесущая частота 3—6
Поднесущие колебания 3—7
Подобие полей 2—302
—— процессов при нелинейных магнитных материалах 2—301
—— цепей 2—301, 302
—— электрическое 2—301
—— электродинамическое 2—301
—— электромагнитных явлений 2—301
Подобия законы электронной оптики 4—377
Подобия электрического критерии 2—301
Подпрограмм библиотека 1—103; 3—98
—— библиотечных метод 1—103; 3—98
—— объединение 1—103
Подпрограмма 1—103
—— диагностическая 1—325, 516, 518
—— контролирующая 2—95; 1—516, 518
—— направляющая 3—96
—— обменная 3—96
—— обрабатывающая 3—97
—— стандартные 3—8; 1—103, 477
—— —— —— конкретизация 2—87
Подпрограммы выделение 3—7
Подсистемы 3—365
Подписки 3—99
Подстановка значений одних известных ф-ций в другие, ранее определенные ф-ции 3—246
Подсчет числа объектов, находящихся в поле наблюдения 3—477
Позиционер 4—212
Позиционная система счисления 3—8, 351
— перевод чисел из одной системы счисления в другую 2—477
—— —— —— двоичная 1—292
—— —— —— девятиричная 1—299
—— —— —— десятичная 1—310
—— —— —— троичная 4—105
Позиционная ЦВМ 4—296
Поиск автоматический 3—9
— потеря на П. 3—60
—— — рыскания период 3—286
Поиск автоматический по методу Гаусса — Зейделя 3—10
—— в словаре машинного перевода 2—258
—— документалистический 1—490
—— информационный 1—490
—— итерациями 3—11
—— методом наискорейшего спуска 3—14
—— по методу градиента 3—12
—— с анализом промежуточных результатов 3—10
—— сканированием 3—14
—— слепой 3—10
—— статистический 3—15
—— фактографический 1—490
Поиска автоматического системы 3—297
— применение обратной связи 2—396
—— логических соотношений системы 3—297
—— области системы 3—297
—— экстремума системы 3—297
Поисковое воздействие 4—357, 359, 360
Поисковое устройство 3—15
Поисковые сканирующие системы 2—383
Показания прибора, вариация 1—115
Показатель полезности — см. Целевая функция
Показывающие приборы 1—446
Полезная составляющая 3—16
Полезный сигнал 3—16; 2—428, 437; 4—252
— определение П. с., действовавших на систему с помощью АВМ 1—71
— система для наилучшего упреждения (экстраполяции) и интерполяции полезного сигнала 2—428
Полиграфический автомат 1—11
Полимерные полупроводники органические 3—29
Полная автоматизация 3—16
Полностью декодирующее дерево 1—310
Полнотекстовые машины 1—186
Полоса автоматической подстройки частоты 1—40
—— задерживания фильтра 4—258
—— захватывания 1—419
—— пропускания 1—505
—— —— динамической САР 3—17
—— —— ультразвуковых линий задержки 2—178
—— —— усилителя широкополосного 4—208
—— —— фильтра 4—258
—— схватывания 4—225
—— удержания 4—225
——частот 3—17; 2—12
Полосовой усилитель высокой частоты 4—192
Полосовой фильтр 3—17, 244
—— —— как избиратель частотный 1—438
—— —— промежуточной частоты 4—253
—— —— сверхвысоких частот 4—255
—— —— электромеханический 4—261
Полуволновой вибратор 1—91
Полупроводник 3—18
— акцептор 1—51
— время жизни носителей заряда 1—162
— вторичная эмиссия 1—165
— генерация носителей заряда в П. 1—256
— Дебая длина 1—298
— дефекты кристалла 1—322
— дислокация 1—345
— диффузионная длина 1—364
— диффузия носителей заряда 1—365
— —— обратная 2—393
— —— примесей 1—365
— дробовые шумы 1—381
— дырка 1—391
— емкость диффузионная 1—393
— запирающий слой 1—402
— запрещенная зона 1—415, 431
— зинеровский пробой 1—428
— избыточные дырки 1—441
— инверсионный слой 1—451
— ионизация ударная 1—498
— лавинный пробой 2—143
— масса эффективная носителя заряда 2—248
— обедненный слой 2—392
— ориентация кристалла 2—456
— параметры, измерение 3—25
— плотность дислокаций 3—27
— подвижность носителей заряда 3—6
— поляронное состояние 3—23
— проводимости тип, определение 3—25
— работа выхода 3—128
— рекомбинационное излучение 3—244
— рекомбинация носителей заряда 3—245
— —— —— —— поверхностная, скорость 3—358
— сплавной переход 3—397
— стабилизация поверхности 3—27
— теплопроводность 3—28
— термообработка 4—30
— термоэлектрические свойства 4—34
— термоэлектронные свойства 4—37
— травление 4—65

— ударная ионизация 1—499
— удельное сопротивление, измерение 3—25
— Ферми квазиуровень 4—237
— фотогальваномагнитный эффект 4—276
— фотодиффузионный эффект 4—276
— фотопроводимость 4—276
— фоточувствительность 4—276
— фотоэдс 4—275
— фотоэлектрические свойства 4—275
— фотоэффект в p — n-переходах 4—277
— экстракция носителей заряда 4—355
— электроакустический эффект 4—362
— электропроводность 4—413
— эффективное время жизни инжектированных неосновных носителей заряда 3—26
Полупроводник вырожденный 3—20
— — компенсированный 3—22
— — примесный 3—22
— — с ионной решеткой 3—22
— — собственный 3—23; 4—413
— — n-типа электропроводности 4—414
— — p-типа электропроводности 4—414
— — ферромагнитный 3—23
Полупроводник — металл контакт 2—92
Полупроводник — полупроводник контакт 2—93
Полупроводника измерение параметров 3—25
— — стабилизация поверхности 3—27
— — теплопроводность 3—28
Полупроводники органические 3—29
Полупроводниковая ЦВМ 4—294, 297
Полупроводниковое соединение 3—30
Полупроводниковое сопротивление 2—263
Полупроводниковое термосопротивление 4—32; 3—229
Полупроводниковые лазеры 3—31, 244
Полупроводниковые логические элементы 2—206
Полупроводниковые микроблоки 2—292
Полупроводниковые плазменные магнитоуправляемые приборы 3—32
Полупроводниковые пленки 2—510
Полупроводниковые приборы 3—19
— время переключения 1—164
— время пролета носителей заряда 1—165
— генерационно-рекомбинационный шум 4—265
— диффузионный шум 4—265
— дробовые шумы 1—381
— емкость барьерная 1—392
— запирающий слой 1—402
— модуляционный шум 4—265
— надежность 2—354
— нестабильность параметров 3—38
— обозначения 4—400
— обратный ток перехода 2—398
— сопротивление внутреннее 3—379
— — — входное 3—379
— тепловое сопротивление 4—27
— тепловой пробой 4—28
— фликкер-шум 4—265
— флуктуационные процессы 4—263, 265
— фотолитография 4—273
— — — четырехслойные 4—326
Полупроводниковые приборы-меза 2—510
Полупроводниковые приборы плазменные магнитоуправляемые 3—32
— — — планарные 2—510
Полупроводниковые твердые схемы 3—470
Полупроводниковый вентиль 3—33
— — — управляемый — см. Тиристор
Полупроводниковый вентильный преобразователь 1—119
Полупроводниковый выпрямитель 3—35; 1—172, 173
Полупроводниковый диод 1—340, 381; 3—186; 4—345
— шумы 4—265
— эквивалентная схема 4—351
— — — как переключатель четырехслойный 2—483
— — — микромодульный 2—292
Полупроводниковый инвертор автономный 1—454
Полупроводниковый конденсатор 2—85
Полупроводниковый операционный усилитель 2—419
Полупроводниковый преобразователь постоянного тока (напряжения) 3—36; 1—523
Полупроводниковый стабилизатор 3—410, 413
Полупроводниковый тензометр 4—27
Полупроводниковый термостат 4—33
Полупроводниковый термоэлемент 4—39
Полупроводниковый тетрод 4—40
Полупроводниковый триод 1—162, 394
Полупроводниковый умножитель 4—142
Полупроводниковый усилитель 4—201
Полупроводниковый фотоэлемент 4—278
Полусумматор 3—40
Поляризаторы скрещенные 4—408
Полярограф 3—41
Полярографический анализатор 3—42
Поляронное состояние в полупроводниках 3—23
Помехи 3—42, 320, 367; 1—122; 2—9
— — аддитивная 3—43, 51; 4—346
— — активные 3—43
— — атмосферные 3—43
— — в каналах телемеханики 3—43
— — внешние 3—42
— — внутренние 3—42
— — импульсные 3—42, 44
— — — — компенсац. методы подавления 3—49
— — межканальные 3—51
— — мультипликативная 3—43
— — пассивные 3—43
— — перекрестные взаимные 3—44, 144
— — при передаче информации 3—42
— — промышленные 2—43
— — флуктуационные 3—42, 48
Помехозащищенность 3—45, 390
Помехоподавляющие устройства в источниках индустриальных радиопомех 3—46
Помехоустойчивое кодирование 2—52
Помехоустойчивость 3—48, 46, 319, 320
— обратная связь и повышение П. 2—395
— отношение сигнал/помеха 2—462
Помехоустойчивость потенциальная 3—48
— — телеизмерения 3—51
— — — потенциальная 3—51
— — телеуправления 3—54; 2—55
Помехоустойчивый код — см. Код обнаружения и исправления ошибки
Порог 2—193
— — чувствительности 1—430
Пороговая логика 2—192
Пороговая функция 2—192
Пороговое значение 3—55, 223
Пороговый элемент 1—105; 2—184, 192; 4—431
Порождающая грамматика 2—160
Порождающая частота 3—55
Порядок опроса величин 3—56; 2—108
— — числа 3—56
Последовательно-ассоциативная память 3—99
Последовательного действия машина 3—56; 1—403; 4—295
Последовательного сокращения невязок метод 2—172
Последовательного улучшения плана метод — см. Симплексный метод
Последовательного уточнения оценок метод — см. Двойственный метод
Последовательностная машина 1—43; 3—263
Последовательность входная 3—57; 261, 372
— — выходная 3—57, 261
Последовательные приближения — см. Итерация Поста машина 4—110
Постоянная времени 3—57
Постоянная составляющая 3—57
— восстановитель 1—158
Постоянно-истинные формулы 1—54
Постоянно-ложные формулы 1—54
Постулаты арифметики 2—187
— — исчисления высказываний 2—187
— — исчисления предикатов 2—187
Потенциал возбуждения резонансных уровней 1—497
— — ионизации 1—497
Потенциалов метод 3—58
Потенциалоскоп 3—58; 1—404; 4—246, 392
Потенциал-регулятор 3—58
Потенциальной осуществимости абстракция 2—182, 189; 4—110
Потенциальный барьер 2—93
Потенциальных функций метод обучения распознаванию 4—113
Потенциометр 3—59; 1—475
— — автоматический 1—327, 332 — см. также Компенсатор переменного тока автоматический
— — — электронный 4—341
— — жидкостные 3—60
— — линейные 3—59
— — металлопленочные 3—60
— — проволочные 3—59
— — самопишущие электронные 1—170
— — функциональные 3—59
Потенциометрический датчик — см. Датчик реостатный
Потеря на поиск 3—60
— рысканья период 3—286
— — на «рысканье» 4—357
Поток восстановлений 2—350
— — вынужденного намагничивания 4—98
— — отказов 2—350; 3—279
— — Пуассона 2—249
— — с ограниченным последействием 2—250
Потолок возбуждения по напряжению 1—145
Поточная автоматическая линия 1—35
Поттерметр 2—508
Почти-гармоническое движение 1—213
Правило выбора решения 3—429
— — 3 σ 3—5
Прагматика 3—318
Предварение 3—60
Предельное значение 3—60
Предельный цикл 3—141; 4—227
— — — устойчивый 4—227
Предикат в математической логике 3—60
Предикатные буквы 2—188; 3—60
Предметное тождество слов 3—62
Предохранить операция 4—444

Предпочтение ТС перед ТУ 2—65
Предсказание 3—62; 1—486
— — полезного сигнала 2—428, 437
Предсказания теория 3—63
Представитель сообщений 4—339
Представление событий 3—63, 262, 372; 2—86
Представления величин преобразователь 3—69
Представления случайных цифр прямые и инверсные, способ совмещения 1—287
Преобразование прямое 1—511
— — развертывающее 1—511
— — следящее 1—511
Преобразователь аналого-цифровой 3—69; 4—309, 310
— — балансный — см. Преобразователь телеизмерительный с обратной связью
— — «вал — цифра» 1—349
— — вентильный — см. Вентильный преобразователь
— — входной для решающих (операционных) усилителей 1—167
— — — непрерывной величины в код 3—64
— — гальваномагнитный 3—67
— — генераторный 3—66
— — гистерезисный 3—66
— — индукционный простой 3—66
— — ионный — см. Вентильный преобразователь
— — ионный — см. Генератор ионных токов повышенной частоты
— — кода 3—65
— — магнитный 3—65
— — магнитоанизотропный 3—67
— — магнитокалорический 3—67
— — магнитомеханический 3—66
— — магнитомодуляционный 3—66
— — магнитонасыщенный 3—66
— — магнитооптический (зеемановский) 3—67
— — магнитооптический (фарадеевский) 3—67
— — магниторезистивный 2—237
— — магнитострикционный — см. Магнитострикционный преобразователь
— — магнитотермоэлектрический 3—67
— — магнитофотоэлектрический 3—67
— — магнитоэлектрический 3—66, 83
— — напряжения в код развертывающий 3—64
— — нелинейный управляемый 3—288
— — оконечный 1—511
— — передающий время импульсной системы ТИ 3—73
— — — частотной импульсной системы ТИ 3—72
— — — частотной системы ТИ 3—73
— — пондеромоторный 3—66
— — постоянного тока (напряжения) полупроводниковый 3—36
— — представления величин 3—69
— — приемный частотной импульсной системы ТИ 3—73
— — — — частотной системы ТИ 3—73
— — пьезоэлектрический — см. Пьезоэлектрический преобразователь
— — с поразрядным уравновешиванием 3—65
— — сверхпроводящий 3—67
— — солион-электрокинетический 3—377
— — телеизмерительный 3—72
— — — с обратной связью 3—74
— — транзисторный — см. Полупроводниковый преобразователь постоянного тока
— — ультразвуковой 3—124
— — ферродинамический 3—351
— — функциональный 3—74
— — — диодный 3—75
— — — нескольких переменных 3—76
— — — пневматический — см. Пневматический функциональный преобразователь
— — — управляемый 3—78
— — — электронолучевой 3—78
— — цифро-аналоговый 3—69
— — частоты 3—80
— — — — крутизна преобразования 2—140
— — — в электронике 3—81
— — — вентильный 1—120
— — — машинный 3—81
— — — — асинхронный 3—81
— — — электромагнитный 3—80
— — экспоненциальный 3—482
— — электромеханический 3—82
— — — магнитоэлектрический 3—83
— — — электродинамический 3—83
— — — электромагнитный 3—82
— — — — поляризованный 3—82
— — электронноакустический для визуализации звуковых полей 1—130
— — электронооптический 4—393, 375; 3—278
— — электронный 3—67
— — электропневматический 3—83
— — — с магнитоэлектрическим электромеханическим преобразованием на входе 3—84
— — — с магнитоэлектрическим элементом с рычажным устройством 3—84
— — — с электродвигателем 3—83
— — электрохимический 3—84
— — ядерно-прецессионный 3—67
Преобразователя чувствительность 3—85
Преобразующее устройство для связи с реальной аппаратурой 3—85
Прерывания программ система 4—175
Приборы со скрещенными полями — см. Магнетронного типа приборы
— — типа «М» — см. Магнетронного типа приборы
Приведенный объект 3—86
Приводимые системы 2—397
Прием периодического сигнала, скрытого в шумах, корреляционный метод 2—128
Прием сигнала на фоне помех 3—86
— выделение полезного сигнала из смеси сигнала с шумом, система наилучшего выделения 2—428
— выделение сигнала из шума 1—171
Прием следящий 3—54
Приемная телевизионная трубка 3—89, 475; 4—392
Приемник (и) ИК излучения 1—494
— инерция 1—494
— интегральная чувствительность 1—494
— порог чувствительности 1—494
— спектральная чувствительность 1—494
— — квазиоптимальный 4—318
— — Котельникова 4—318
— — оптимальный 3—48, 88; 4—318
— — ультразвука 3—91
— — — волноводный 3—91
— — — контрольный 3—91
— — — пьезоэлектрический измерительный 3—91
— — — радиометрический 3—91
Приемного устройства чувствительность 4—335
Приемное развертывающее устройство 3—476
Премно-усилительная лампа 2—151; 3—92
— катод оксидный 2—23
— — — холодный 2—24
— статические параметры 3—434
— цоколь 4—313
— — — миниатюрная 2—148
Приемно-усилительный триод 4—104
Приемопередатчики для канала релейной защиты 2—13
Приемочный статистический контроль 2—102
«Призм» 2—494
Признак длины ячейки 3—92
— — переадресации 2—476
— — реализуемости команды 3—441
— — структуры команды 3—441
Признаки 1—487
— —, обеспечивающие требуемый режим выполнения команды 3—441
Прилипания фактор 3—26
Примесная фотопроводимость 1—143; 4—274
Примесная электропроводность — см. Электропроводность
Примесные уровни энергии — см. Электропроводность
Примесный фотоэффект 4—276
Примитивной рекурсии схема 3—246
Примитивно-рекурсивная функция 3—246
Принцип гармонического баланса — см. Гармонический баланс
Припасовывания метод 3—92
Приработки изделий период 2—349
Присвоение истинных адресов 3—93, 102
Проб метод 2—195
Проблема выбора 2—171
— — дедуктивной полноты 2—188
— — моментов 3—93
— — — — синтез оптимальных систем, сведение к П. м. 3—333
— — построения минимальной ε-сети 4—438
— — разрешения исчисления 2—188
Пробное воздействие — см. Поисковое воздействие
Проверка абсолютной величины числа 2—199
— — знака числа 2—199
— — переполнения разрядной сетки при сложении 2—199
— — поразрядного тождества кода нулю 2—199
— — равенства числа нулю 2—199
Проводимости тип, определение 3—25
Проводимость дырочная — см. Электропроводность
— — изоляции линий связи 2—175
— — собственная — см. Полупроводник собственный
— —темновая 4—274
— — n типа (p-типа) — см. Электропроводность
— — электронная — см. Электропроводность
Проводник 3—19
Прогнозирование — см. Предсказание
Программ прерывания система 4—175
— — циклы 4—290
— — — — циклов счетчики 4—290
Программа 3—94
— блок-схема 1—110
— восстановление команд 1—158
— декодирование 1—302
— код адреса 2—49
— команд модификации 2—62
— — — формирование 2—63
— константы 2—88
— контрольные расчеты 2—107

— логическая схема 1—302
— — блок-схема 1—110
— организация 2—452
— отладка 2—461
— присвоение истинных адресов 3—93
— разветвление 3—143
— связность 4—353
— структурная схема 1—302
— тесты 4—39
Программа анализа сбоев 3—95
—— ввода 3—96
—— —— с автоматич. контролем 3—96
—— —— с контролем по СП 3—96
—— —— с контролем правильности ввода 3—96
—— —— сложная 3—96
—— GPS 4—348
—— для балансирования сборочного конвейера 4—349
—— для выбора отображения при распознавании образов 4—350
—— для игры в шахматы 4—349
—— —— —— в шашки 4—349
——, имитирующая работу служащего банка, который дает советы о наиболее целесообразном помещении капитала в различные предприятия 4—349
—— интерпретирующая 1—104, 477
—— испытательная 1—516
—— —— — система 1—518
—— «Логический Теоретик» 4—348
—— моделирующие процессы обучения 1—106
—— обучающаяся эвристическая 4—350
—— опознавания 1—106
—— отлаживающая 2—462
—— программирующая 3—101; 4—111
—— —— — метод автоматизации программирования 3—103
—— равносильная 3—131
—— SALNT 4—348
—— составляющая 1—104
—— управляющая 3—96
—— эвристическая — см. Эвристическая программа
—— Эттингера 1—106; 2—316
Программа-диспетчер 3—98; 4—175
Программирование 3—97
— автоматизация — см. Автоматизация программирования
— алгол 1—56
— библиотечных подпрограмм метод 1—103
— вынос величин в стандартные ячейки 1—171
— запятой плавающей метод 1—416
— кобол 2—46
— логическая шкала 2—204
— машинный язык универсальный 2—260
— операторный метод 2—415, 202; 3—131
— подпрограммы выделение 3—7
— равносильность алгоритмов 3—130
— счета схема 3—455
— табсол 3—466
— теория 2—35
— циркуляция 4—292
— экономия рабочих ячеек 4—353
— языки 4—445
Программирование ассоциативное 3—98
—— блочное 2—255
—— в системе адреса плавающего 1—49
—— выпуклое — см. Выпуклое программирование
——динамическое 1—333
—— —— — синтез оптимальных систем по методу П. д. 3—332
—— квадратичное — см. Квадратичное программирование
—— линейное — см. Линейное программирование
—— математическое — см. Математическое программирование
—— нелинейное — см. Нелинейное программирование
—— оптимальное 1—297; 2—298
—— параметрическое 2—472, 255
—— рекурсивное 3—98
—— стохастическое 3—436; 2—255
—— целочисленное 4—287; 2—255; 3—145
Программированное обучение 2—401, 408
Программирующая программа 3—101; 4—111
Программирующих программ метод 3—103
— оператор стандартный 2—414
Программного регулирования система 3—104
Программное задающее устройство 1—398
Программное моделирование в реальном масштабе времени 2—307
Программное регулирование 3—200, 222
Программное управление 3—104; 1—20
—— —— летательными аппаратами 4—152
—— —— с применением управляющих слов 3—106
Программный контроль ЦВМ 2—99, 101
Программный метод получения случайных чисел 3—367
Программный регулятор 3—222, 206
Продвигающий список 3—97
Продолжение ветви (при конструировании алгоритмов) 1—60
Проектирование структуры ЦВМ 3—105; 2—62
Проектно-конструкторские организации 2—364
Проекционная телевизионная трубка 4—392
Произведение (в логике) 1—53
—— алгоритмов 1—59
Прокол в приборах 2—362, 398; 4—80
Промахи 2—525
Промежуточный релейный элемент электрический 3—271
Промежуточный элемент релейного устройства 3—108
Промышленная пневмоавтоматика, УСЭППА 4—223
Промышленная телевизионная установка 3—477
Промышленная электроника 3—108
— электронно-ионная технология 4—380
Промышленное телевидение 3—477
Проницаемость электронной лампы 3—434
Пропозициональная переменная (в логике) 1—52
Пропозициональное исчисление — см. Исчисление высказываний
Пропозициональные буквы 2—187
Пропорционально-интегральный закон регулирования 3—202, 209
Пропорциональный закон регулирования 3—202, 209
Пропорциональный регулятор 1—192
Пропорционаторы — см. Дозаторы соотношения
Пропуск сигнала 3—48
Пропускная способность канала 3—108; 1—484; 2—10, 53
—— —— человека 3—114
Прорыв запирания в вентильных преобразователях 1—421
Пространственная избирательность 1—440
Пространственная структура 3—109; 2—335
Пространство взаимодействия 2—145
—— выборок 3—425, 430
—— задачи 4—348
—— параметров 3—109
—— —— — рабочая область 3—129
—— —— — Д-разбиение 1—380
—— —— — устойчивости граница 4—216
—— —— — —— областей выделение 4—127
—— признаков 3—156
—— рецепторов 3—156; 4—113
—— сигналов 3—322
—— состояний динамической системы 3—109
—— —— — изохрон область 1—447
—— стратегий 2—438
—— фазовое 4—226; 2—375; 3—109
—— —— — разбиение на области 3—141
—— —— изделия 2—349
—— функциональное 3—110
«Противовес» (заземление) 1—399
Проточная камера пневматическая 2—7
Проточный элемент 3—110
Профессиональная пригодность в автоматизированном производстве 3—110
Профилактический режим ЦВМ 2—100
Проходной катушки метод (в дефектоскопии) 1—321, 444
Прядильная машина электростатическая 4—415, 416
Прямой метод — см. Ляпунова метод
Псевдокод 1—104, 477; 3—98; 4—145
Псевдокоманда — см. Псевдокод
Псевдолинейная система 3—112
Псевдооперация 4—145
Псевдослучайные числа 2—331; 3—112, 367
Псевдослучайных чисел метод 3—112
—— —— получение 3—367
Психология инженерная 3—112, 117; 1—482; 4—313
Психофизиологические особенности оператора 3—111, 113
Психрометр 3—116
Псофометрические уровни 3—44
Пуассона поток 2—249
«Пульсности» схемы 3—186
Пульс-пара релейная 1—217; 3—264
Пульт диспетчерский 3—116
—— управления 3—117
—— —— интерпретируемый 3—120
—— —— с произвольной логической структурой — см. Пульт управления интерпретируемый
—— —— универсальной цифровой машины 4—144
—— —— ЦВМ 3—119
Пункт диспетчерский 3—120
Пушпульная схема — см. Двухтактная схема
pH-метр 3—211 — см. также Концентрации водородных ионов измерение
Пучность напряжения (или тока) 1—149
Пьезопереход — см. Упругодеформируемый переход
Пьезоэлектрические константы 3—126
Пьезоэлектрические материалы 3—121
Пьезоэлектрический акселерометр 1—50
Пьезоэлектрический виброметр 3—124
Пьезоэлектрический датчик 1—281
Пьезоэлектрический измерительный приемник ультразвука 3—91
Пьезоэлектрический преобразователь 3—123
Пьезоэлектрический преобразователь-генератор 3—125

Пьезоэлектрический преобразователь-двигатель 3—125
Пьезоэлектрический стержень 3—123
Пьезоэлектрический эффект 3—125, 239
Пятиадресная команда 3—440
Пятиадресная машина 1—49

Р

Работа выхода 3—128
Работоспособность изделия 2—348
Рабочая область 3—129
Рабочее состояние релейной цепи 3—129
Рабочие приборы 1—446
Рабочий кортеж комплекса 2—79
—— —— оператора логической схемы 2—413
Равновероятные парные комбинации, способ выделения 1—287
Равновесия состояние 3—129, 435
Равномерная структура команд 3—440
Равномерно-оптимальные системы 2—433
Равносильное преобразование алгоритма 3—130
Равносильность алгоритмов 3—130; 1—58
—— логических схем 3—130
Равносильные выражения 3—131
Равносильные преобразования логических схем 3—131
— комплекс 2—79
Равносильные преобразования структуры релейного устройства 3—133
Равносильные формулы 1—52
Радиационное давление — см. Давление звукового поля
Радиационный пирометр 2—503
Радиоактивности единицы 2—528
Радиоактивных изотопов применение 3—134
—— —— —— в реле перемещения 3—252
—— —— —— в реле скорости 3—253
Радиографический метод регистрации 3—195
Радиодальномеры 3—347
Радиоизотопные методы измерения влажности 1—141
Радиоизотопные устройства 3—134
Радиоизотопный манометр 2—245
Радиоизотопный плотномер 2—513; 3—135
Радиоизотопный толщиномер 3—135
Радиоизотопный уровнемер волновой 4—188
Радиоимпульсы 1—450
Радиоинтерферометр 2—47
Радиоканал — см. Канал радио и радиорелейный
Радиолаг — см. Радиоинтерферометр
Радиолиния (в телемеханике) 3—136
Радиолокатор импульсный с селекцией подвижных целей 2—47
Радиолокационный индикатор 3—142, 173
Радиолокация, разрешающая способность приборов 3—146
Радиометр 1—275; 2—505; 3—91
Радиометрический оптический пирометр 2—502
Радиопередатчиков автоматическая подстройка 3—136
Радиопилюля 2—268
Радиопомехи индустриальные, помехоподавляющие устройства в источниках Р. и. 3—46
Радиорелейная линия 2—12
Радиорелейный канал 2—12
Радиоспектроскопия 3—137
Радиотелеизмерение 3—139
Радиотелеконтроль 3—141
Радиотелеметрия — см. Радиотелеизмерение
Радиотелеметрия в медицине 2—269
Радиотелемеханика 3—140
Радиотелемеханическая система 3—140
Радиотелеуправление 3—140
Радиотехнические методы контроля 1—322
Радиотехнические устройства, вопросы прохождения случайных сигналов и шумов 1—486
Радиоуправления командные системы 3—141
Радиоэлектроника — см. Электроника
«Радон» (обучающий комплекс) 2—407
Разбиение фазового пространства на области 3—141
Развертка 3—142
— генератор Р. 1—241
Развертка ждущая 3—142
—— изображения читающего устройства 4—331
—— кольцевая линейная 3—142
—— одномерная линейная 3—142
—— растровая 3—173, 142
—— спиральная 3—142
—— ЭЛТ, генератор меток 1—236
Развертывающего преобразования устройство 3—79
Разветвление программы 3—143
Разветвления построение (при конструировании алгоритмов) 1—60
Разветвления циклов программ 4—291
Развязывающая цепь 2—467
Разгона время 3—287
—— кривая 3—287
Разделение каналов в телемеханике 3—143, 312, 484; 2—326
—— —— временное 1—161, 440; 3—143
—— —— кодовое 3—143
—— —— комбинированное 3—143
—— —— частотное 4—316; 3—143
Разделителей регулярных способ выбора значений функции из таблицы 3—465
Разделяющих плоскостей метод обучению распознаванию 4—113
Различение нескольких сигналов 3—88
Размах 4—331
Размеров датчики 1—282, 283
—— контроль автоматический 2—101
—— реле 3—255
Размещения задача 3—144
— вариации объемов производства метод 3—145
—математич. формулировка простейшей Р. з. 3—144
— случайного выбора метод 3—145
— целочисленный метод 3—145
Размещения оборудования задача 4—287
Разомкнутая система 2—395
—— —— управления 1—21, 26; 4—166, 319
Разомкнутый контур 3—145
Разрешающая способность 3—146
—— —— оптических приборов 3—146
—— —— электрического фильтра 3—146
Разрешающие множители (в двойственной задаче) 1—295
Разрешающий вектор (в двойственной задаче) 1—295
Разрешенные зоны 1—431; 3—244
Разрывные колебания — см. Релаксационные колебания
Разряд в газе темный 4—17
—— —— —— тлеющий 4—55
—— высокочастотный 3—150
—— дуговой 1—388; 2—383; 3—298
—— искровой 1—509; 3—298
—— квазистационарный 3—150
—— коронный 2—118; 3—298
—— несамостоятельный 2—382; 1—389; 3—298
—— нестационарный 3—150
—— самостоятельный 3—298; 1—388
—— скользящий 1—509
—— стационарный 3—150
—— стримерный 2—118
—— таунсендовский 2—383
—— темный 2—382; 3—298
—— тлеющий 3—298
—— —— — обработка шерсти 4—404
Разрядная сетка машины 3—147; 4—304
Разрядник защитный 1—504
—— ионный 1—504, 503
——нерезонансный 1—504, 503
—— проходной 1—504
—— резонансный 1—503
—— СВЧ 1—503
Разрядники 1—501
$(n+m)$-Разрядное сложение 2—49
K-Разрядное циклическое сложение 2—52
Разряды в газах (электрические) 3—147
Разум практический как гомеостаз 2—345
Разъем 3—151
Рамочная антенна 1—90
Ранг объекта 3—461
Раскладочно-подборочные машины 3—383
Расписаний теории 3—151
Расписывание 2—78
Распознавание в случае непересекающихся признаков 3—159
—— голоса 3—152
—— звуков речи 3—153
—— —— —— — скептрон 3—356
—— образов 3—154, 355, 477; 2—305; 4—64, 312
—— —— — узнающая машина 4—112
—— —— по признакам 3—158
—— —— с помощью обобщенного портрета 2—393
—— печатных знаков 3—159
—— —— —— — методы зондов 3—159
—— —— —— — —— интегральные 3—159
—— —— —— — —— составления описания по элементам формы знаков 3—160
—— —— —— — читающее устройство 4—331
—— рукописного текста 3—160
—— с избыточным числом признаков 3—158
—— с конечным числом признаков 3—158
Распознающая система 3—154
χ^2-Распределение 3—427
Распределение памяти 3—162
—— —— динамическое 3—162
—— Стьюдента 2—524
—— эмпирическое 3—427
Распределения корней метод 3—162
Распределитель — см. Коммутатор
—— бесконтактный 3—164
—— гидравлический 3—165
—— кулачковый 3—164
—— релейный 3—164
—— сжатого воздуха 3—165
—— синхронный 3—163
—— старт-стопный 3—163

—— телемеханический бесконтактный 3—166
—— —— —— магнитно-диодный 3—166
—— —— —— транзисторный 3—166
—— —— —— феррит-транзисторный 3—166
—— —— релейно-контактный 3—167
—— устройств телемеханики 3—169
—— шаговый 3—163
—— —— с электромагнитным приводом — см. Искатель шаговый
—— щеточный 3—163
—— электрический 3—163
—— электромеханический 3—170
—— электронолучевой 3—170, 164
Распыление жидкостей в УЗ фонтане 4—130
—— тонких слоев жидкости с поверхности УЗ излучателя 4—130
—— ультразвуковое 4—129
Рассеяние звука 2—380
—— света комбинационное индуцированное 3—172
Рассеяния света комбинационного спектроскопия 3—394, 395
Рассогласование 3—173
Рассредоточенные объекты (в телемеханике) 3—173
Расстроенные двойки 4—203
Растр (в электронике) 3—173, 142
Растровый электронный микроскоп 4—396
Расхода измерение 3—173
—— реле 3—253
Расходомер вертушечный 3—175
—— гироскопический 3—178
—— диафрагменный электрокинетический 3—180
—— индукционный 3—176, 174
—— ионизационный 3—176, 175
—— —— с непрерывной ионизацией потока 3—176
—— калориметрический 3—174, 181
—— манометрический 3—175, 179
—— массовый 3—177, 174
—— обтекания 3—179
—— объемный 3—174
—— с метками потока 3—178, 175
—— скоростного напора 3—179, 175
—— тепловой 3—180, 174
—— турбинный 3—174
—— ультразвуковой 3—181, 174
—— электромагнитный — см. Расходомер индукционный
Расходомерная насадка Вентури 3—179
—— —— Долла 3—179
Расчетная модель электрической системы — см. Расчетный стол
Расчетный стол 3—182; 1—14
Расшифровывающая машина 3—184
Рауса критерий 3—184; 1—65
Рашковского система дистанционного управления 1—360
Реактивная лампа 3—185
Реактивная мощность в вентильных преобразователях 3—186
Реактивные спусковые схемы 3—399
Реактивный триггер 3—399
Реакция на воздействие 3—189
—— на единичный импульс — см. Импульсная переходная функция
Реализация логической схемы 3—131
Регенерация информации в ЦВМ 3—189
Регистр 3—189
—— адреса 1—409
—— АТС 3—189
—— индексный — см. Индексный регистр
—— команд 3—190; 1—58; 2—62, 195, 210, 421; 4—173
—— — программа для контроля 1—517
—— модификации — см. Регистр приращения адреса
—— накапливающий 2—298
—— операнда 2—412; 4—174
—— операционный 3—190
—— признаков перехода 4—174
—— приращения адреса 3—190 — см. также Индексный регистр
—— сдвига 3—191; 4—308
—— —— на ферритдиодный ячейке однотактный 4—238
—— числа 1—409
Регистраторы 1—482
Регистрация автоматическая 3—191; 4—391
—— —— аппликационная 3—192
—— —— графическая 3—192
—— —— изменением качества вещества 3—194
—— —— —— —— —— —— —— диэлектрический метод 3—195
—— —— —— —— —— —— —— радиографический метод 3—195
—— —— —— —— —— —— —— струйно-химич. метод 3—194
—— —— —— —— —— —— термический метод 3—194
—— —— —— —— —— —— термоискровой метод 3—194
—— —— —— —— —— —— трибоэлектрический метод 3—195
—— —— —— —— —— —— фотографический метод 3—195
—— —— —— —— —— —— электроискровой метод 3—194
—— —— —— —— —— —— электромагнитный метод 3—195
—— —— —— —— —— —— электронный метод 3—195
—— —— —— —— —— —— электротермический метод 3—194
—— —— —— —— —— —— электрохимич. метод 3—195
—— —— ксерографическая 3—192
—— —— нанесением слоя вещества 3—193
—— —— —— —— —— —— карандашный метод 3—193
—— —— —— —— —— —— копировальный метод 3—193
—— —— —— —— —— —— печатные методы 3—193
—— —— —— —— —— —— струйный метод 3—193
—— —— —— —— —— —— чернильный метод 3—193
—— —— снятием слоя вещества 3—193
—— —— —— —— —— —— перфораторный метод 3—194
—— —— —— —— —— —— плавильный метод 3—194
—— —— —— —— —— —— резцовые методы 3—193
—— —— —— —— —— —— струйно-резцовый метод 3—194
—— —— теневая 3—192
—— —— термопластическая 3—192
—— —— цифровая десятичная 3—192
—— —— электростатическая 3—192
—— показаний при телеизмерении 3—196
—— —— —— —— аналоговая 3—196
—— —— —— —— цифровая 3—196
Регистрирующие приборы 1—446
Регистр-счетчик команд 2—421
В-Регистры 2—299
Регистры АУ 1—95
—— —— дополнительные 2—298
Регулирование автоматическое 3—196, 1—21, 32; 4—42
— агрегатная унифицированная система 1—46
— качества показатели 2—26
Регулирование автоматическое связанное и несвязанное 3—198, 197
—— —— —— —— автономности условия 1—44
—— астатическое 2—202, 207
—— давления 3—233
—— двухпозиционное 3—199, 198, 210
—— изодромное 3—199, 197, 200, 202, 211
—— импульсное 3—199, 212
—— —— — регулирования интервал 3—203
—— комбинированное 3—197, 207
—— напряжения 3—214—220
—— —— групповое 1—273
—— непрямое 3—197
—— по возмущению 1—32; 3—197, 207, 225
—— по нагрузке — см. Регулирование по возмущению
—— по отклонению 1—32; 3—197, 207
—— по производной 3—200, 197, 224
—— программное 3—200, 104, 222
—— пропорциональное, пределы 3—205
—— прямое 3—197
—— релейное 3—197
—— с упреждающим воздействием 3—225
—— скорости вращения 3—200, 231, 232
—— телеавтоматическое 4—42
—— температуры 3—199, 228
—— —— двухпозиционное 3—211
—— —— импульсное 3—213
—— —— многопозиционное 3—213
—— —— релейное 3—223
—— уровня 3—211
Регулирования автоматического теория 3—201; 1—33
— частотный метод 4—319
—— время 3—202
—— диапазон 3—202
—— закон 3—202, 197
—— —— интегральный (астатический) 3—202
—— —— пропорционально-интегральный (изодромный) 3—202
—— —— пропорционально-интегральный с производной 3—202
—— —— пропорциональный (статический) 3—202
—— интервал 3—203
—— колонка 3—233
—— ошибка 3—204
—— площадь — см. Отклонения площадь
—— программного система 3—104, 200
—— пропорционального пределы 3—205
—— система 3—205

—— —— автоматич. стабилизации 3—205; 1—99
—— —— автономная 3—201, 205
—— —— инвариантная 3—202
—— —— комбинированная 3—203
—— —— многоконтурная 3—205
—— —— многосвязная 3—203
—— —— одноконтурная 3—205, 208
—— —— с взаимосвязанными задатчиками 3—204
—— —— следящая — см. Следящая система
—— —— цифровая 3—222
—— статика 3—205, 202, 227
Регулируемая величина 3—206, 205
— диапазон изменений 3—206
— заданное значение 1—398
Регулирующая величина — см. Регулирующее воздействие
Регулирующее воздействие 3—206, 205
Регулярной информации обработка 1—479
Регулярные события 3—373
Регулятор автоматический 3—206, 197; 1—21, 32
— настройка 2—363
— — шкала 4—340
Регулятор автоматический обучающийся 2—399
—— астатический 3—207, 197
—— вибрационный 3—208
—— возбуждения автоматический 1—144
—— —— сильного действия 3—214, 216, 217, 219; 2—70
—— всережимный 3—209
—— гидравлический 3—209, 226
—— — давления 3—225
—— двухпозиционный 3—210, 199, 213
—— дискретного действия — см. Регулятор прерывистого действия
—— изодромный 3—211, 199, 222, 224
—— —— — настройки характеристика 2—363
—— —— с остаточным статизмом 3—212
—— импульсный 3—212, 222
—— индукционный — см. Потенциал-регулятор
—— интегральный 3—207, 209
—— линейный 3—207
—— многоимпульсный 3—213
—— многопозиционный 3—213
—— напряжения 3—214
—— —— вибрационный 3—208
—— —— гидрогенераторов Волжской ГЭС им. В. И. Ленина 3—219
—— —— —— Волжской ГЭС им. XXII съезда КПСС 3—218
—— —— подмагничиваемый 3—215, 406
—— —— с гибкой обратной связью 3—224
—— —— угольный 3—214, 229
—— —— электромагнитный 3—215
—— —— электронный 3—219
—— непрерывного действия 3—207, 223
—— непрямого действия 3—221, 207
—— ограничивающий 3—221
—— плотности пьезометрический проточный 2—511
—— пневматический 3—221, 229
—— прерывистого действия 3—222, 207
—— программный 3—222, 206
—— пропорционально-интегральный 3—207, 209
—— пропорциональный 3—223, 207, 209, 228; 1—192
—— прямого действия 3—223, 207
—— пятипозиционный 3—213
—— релейный 3—223, 207
—— с воздействием по производной 3—224
—— с гибкой обратной связью 3—224
—— с несколькими воздействиями 3—224, 207
—— с переменной настройкой 3—225
—— самонастраивающийся 3—198
—— скорости 3—230
—— —— винтового турбонасоса 3—226
—— —— гидравлический 3—226
—— —— гидравлических турбин 3—232
—— —— дизель-генератора 3—232
—— —— с центробежным измерителем 3—226
—— статический 3—227, 207, 212, 213
—— температуры 3—228
—— тепловой нагрузки 3—225
—— трехпозиционный 3—213
—— угольный автоматический 3—229, 214
—— уровня 3—211, 225
—— цифровой 3—222
—— частоты 3—230
—— экстремальный 4—357 — см. также Оптимизатор
—— электрический 3—231
—— электрогидравлический 3—231
—— электромеханический 3—233
Режимная контролируемая величина 2—94
Резервирование — см. Надежность
Резервирование, дублирование 1—388
—— структурное 3—234
—— —— — гамакообразных структур метод 3—234
—— —— — голосования метод 3—234
—— —— — минимальной избыточности метод 3—234
—— —— — повторения метод 3—234
Резистивный усилитель — см. Усилитель на сопротивлениях
Резистрон 4—392
Резнатрон 3—235; 1—255
Резонанс 3—235
—— в связанной цепи 3—309
—— мёссбауэровский 2—277
—— n-го рода 1—172
—— напряжений — см. Резонанс последовательный
—— паразитный 3—240
—— параллельный 3—237
—— параметрический 3—238
—— последовательный 3—237
—— тока — см. Резонанс параллельный
—— цезия атомный 3—420
—— электромеханический 3—239
—— электронно-ядерный двойной 2—237
Резонансная частота 3—238, 237, 241, 242, 243; 3—309
Резонансное излучение 1—207, 497
Резонансное реле электрическое 3—257
Резонансные излучатели 4—116
Резонансные контуры, емкостной связи схема 1—392
—— —— избирателей частотных 1—438
Резонансный волномер 1—154
Резонансный метод ультразвуковой дефектоскопии 1—321; 4—120
—— —— ультразвуковой толщинометрии 4—127
Резонансный мост 2—334
Резонансный толщиномер 4—120
Резонансный уровнемер волновой 4—188
Резонансный усилитель 4—204
—— —— высокой частоты 4—192
—— —— каскодный 4—194
Резонансный частотомер 4—323
Резонансный электродинамический излучатель 4—366
Резонатор волноводного типа 3—241
—— кварцевый 3—238, 419; 4—249
—— коаксиальный 3—240
—— магнитострикционный 4—250
—— объемный 3—241, 420
—— —— — диэлектрич. нагрев в Р. о. 1—368
—— —— многорезонансный 3—244
—— —— прямоугольный 3—241
—— —— тороидальный 3—242
—— —— цилиндрический 3—242
—— оптический 3—310
—— полый — см. Резонатор объемный
Результаты наблюдений (в теории статистич. решений) 3—429
Резцовые методы регистрации 3—193
Рекомбинационное излучение 3—244
—— —— индуцированное 3—31
Рекомбинация ионов объемная 3—149
—— носителей заряда 3—245; 1—162
—— поверхностная, скорость 3—358
Рекурсивное определение 3—246
Рекурсивное программирование 3—98
Рекурсивные функции 3—245; 2—189
Релаксации время — см. Время опрокидывания
Релаксационные колебания 3—247
Релаксационный генератор — см. Генератор релаксационных колебаний
—— —— импульсов 1—219
Реле 3—248 — см. также Релейный элемент
— блокировка 1—108
— возврата коэффициент 1—146
— воспринимающий орган 1—155
— замедления схема 1—400
— исполнительный орган 1—513
Реле акустическое 3—248
—— времени 3—248, 263, 269
—— —— биметаллическое 3—249
—— —— гидравлическое 3—249
—— —— моторное 3—249
—— втяжное 3—258
—— выдержки времени — см. Реле времени
—— давления 3—253
—— дифференциальные 3—251
—— замедляющее — см. Реле времени
—— защитное 3—249, 269, 270
—— знака изменения сигнала на выходе — см. Сигнум-реле
—— капсульные 2—424
—— клапанное 3—258
—— кодовое 3—251
—— магнитное 3—251
—— максимального тока 3—250
—— механическое 3—251, 254
—— момента 3—254
—— наборные 1—324
—— направления мощности 3—250
—— напряжения 3—250
—— оптическое 3—254
—— перемещения 3—251
—— плотности жидкости 3—254
—— пневматическое с элементом сопло-заслонка 3—254
—— поворотное 3—258
—— размеров 3—255

—— расхода 3—253
—— скорости 3—252
—— соленоидное 3—258
—— сопротивления 3—250
—— струйное 3—439
—— тепловое 3—255; 2—229
—— —— биметаллическое 3—256
—— ——, основанное на зависимости плотности газа от температуры 3—256
—— ——, основанное на изменении диэлектрич. постоянной 3—257
—— ——, основанное на изменении магнитной проницаемости 3—257
—— ——, основанное на изменении удельного сопротивления 3—257
—— ——, основанное на линейном расширении двух стержней 3—256
—— ——, основанное на механич. принципе 3—256
—— ——, основанное на объемном расширении 3—256
—— ——, основанное на оптических принципах 3—256
—— ——, основанное на переходе вещества из жидкого состояния в газообразное 3—256
—— ——, основанное на переходе вещества из твердого состояния в жидкое 3—256
—— ——, основанное на электрич. принципах 3—256
—— уровня 3—252
—— усилия 3—253
—— ускорения 3—253
—— электрическое — см. Релейный элемент электрический
—— —— бесконтактное (с изменяющейся индуктивностью) 3—257, 270
—— —— резонансное 3—257
—— электромагнитное 3—258, 263, 266, 267, 270
—— —— в качестве вентиля 1—119
—— электромеханическое 4—246
—— электронное 3—398; 4—103
—— электрохимическое 3—85
Релейная защита — см. Защита электропередач переменного тока
Релейная пульс-пара 1—217
Релейная система в регулировании 3—259; 4—168
— линеаризация вибрационная 2—163
— —— принудительная 2—164
— переходных процессов построение 2—492
— подавление автоколебаний 3—6
— припасовывания метод исследования 3—92
— скользящий режим 3—357
Релейная система квазилинейная 2—163
Релейная характеристика 3—259
— неоднозначность 2—380
Релейная цепь 3—260
— безразличное состояние 1—102
— двухполюсное соединение 1—297
— запрещенное состояние 1—415
— многополюсное соединение 2—298
— рабочее состояние 3—129
— структурная формула 3—444
Релейное действие 3—263
Релейное устройство 3—263
— анализ 3—271, 264, 273; 2—194
— безразличное состояние 1—102
— воспринимающий элемент 1—156
— входной алфавит 1—167
— исполнительный элемент 1—514
— неиспользуемое состояние 2—370
— неустойчивое состояние внутреннее 2—384
— промежуточный элемент 3—108
— радиоактивных изотопов применение 3—135
— резервирование структурное 3—234
— синтез 3—334, 262, 272, 273; 2—194
— структура 3—260
— — минимизация 2—294
— — равносильные преобразования 3—133
— — реализация 3—260
— —— инверсная 1—451
— —— итеративная 1—523
— —— мостовая 2—335
— —— параллельно-последовательная 2—468
— —— плоская 2—511
— —— пространственная 3—109
— —— симметричная 3—323
— таблица состояний 3—463
— такт работы 3—470
— теория 3—272
— условия работы 3—261, 372
— элементы 3—262, 263
Релейное устройство автономное 3—264
—— —— асинхронное 3—264, 470
—— —— как конечный автомат 2—86
—— —— многотактное 3—265, 261, 263, 271; 2—385
—— —— —— — переходов диаграмма 2—492
—— —— —— — таблица включений 3—461
—— —— —— — таблица состояний 3—463
—— —— однотактное 3—265, 261, 263, 271
—— —— —— — таблица состояний 3—463
—— —— синхронное 3—265, 264, 470
Релейно-контактный телемеханический распределитель 3—167
Релейно-контактных схем анализ 3—271
—— —— —— при помощи машин 2—194
—— —— синтез при помощи машин 2—194
—— —— теория 3—266
Релейный бесконтактный элемент 3—266, 260, 263, 267
Релейный генератор 1—217
Релейный двухпозиционный элемент 3—266
Релейный двухполюсник контактный 3—266
Релейный контактный элемент 3—266, 260, 267
Релейный многопозиционный элемент 3—266
Релейный многополюсник контактный 3—267; 2—298
Релейный распределитель 3—164
Релейный регулятор 3—223, 207
Релейный схемный анализатор 2—194
Релейный элемент 3—267 — см. также Реле
— возврат 3—268
— время отпускания (или возврата) 3—268
— —— перехода 3—268
— —— срабатывания 3—268
— классификация 3—268, 269
— коэффициент отпускания 3—268
— отпускание 3—268
— срабатывание 3—263, 268
— фиксация 3—268, 269
Релейный элемент гистерезисный 3—268
—— —— знака величины 3—269
—— —— импульсный 3—269
—— —— контроля 3—269, 270
—— —— механический 3—268
—— —— поляризованный 3—223
—— —— предельный 3—269
—— —— с фиксацией воздействий 3—269, 268
—— —— соотношения 3—269
—— —— увеличения и уменьшения величины 3—269
—— —— управления 3—269; 270
—— —— электрический 3—270, 268
Релейных элементов состязание 3—273
—— —— —— допустимое 1—379
—— —— —— недопустимое 2—370
Реле-селектор 3—251
Ремонтопригодность изделия 2—348
Рентгеновская трубка 3—273; 1—45
Рентгеновская трубка диагностическая 3—275
—— —— для исследования материалов 3—275
—— —— для микросекундной рентгенографии 3—276
—— —— для структурного анализа 3—274
—— —— для теневой микроскопии 3—276
Рентгеновский сепаратор 4—419
Рентгеновский теневой микроскоп 3—275
Рентгеновского излучения единицы 2—528
Рентгенография 3—275
Рентгенодефектоскопия 3—276; 1—321
Рентгеноскопия 3—275
Рентгентелевизионные аппараты 2—267
Рентгенэлектрокимография 2—266
Реография 2—263
Реокардиография 2—263
Реоплетизмография 2—263
Реостатная связь — см. Гальваническая связь
Реостатная спусковая схема 3—398
Реостатный триггер 3—398
Реостатный усилитель — см. Усилитель на сопротивлениях
«Репетитор» (обучающая машина) 2—404
Репродуктор — см. Контрольно-считывающее устройство
Ресурс технический 3—278
Реферирование автоматическое 2—365, 366
Рефлексный код — см. Код Грея
Рефлекторное устройство 1—21
Рефлекторный автомат 1—21
Рефлекторный радиационный пирометр 2—504
Рефрактерности время 2—94, 370; 372
—— зона 2—371
Рефракторный радиационный пирометр 2—504
Решающий усилитель 2—416
— входной преобразователь 1—167
— дрейф нулевого уровня 1—380
Решающий усилитель пневматический 3—280; 1—190
Решение игры 1—435
Риск 3—426, 430
—— средний 2—429
—— условный 2—429
Рогинского В. Н. метод синтеза релейных устройств 3—336
РОД 3—280
Ромбическая кристаллическая система 2—330
Ромбоэдрическая кристаллическая система 2—330
Ротаметры 3—175, 180
Роторная автоматическая линия 3—280; 1—36
Ртутные лампы 1—206
Ртутный вентиль 3—282; 1—502; 4—233
— деионизация 1—300
— защита 1—421
Ртутный выпрямитель 3—284; 1—172
Рубильник 1—171
Рупорная антенна 1—91

Рыболокация — см. Ультразвуковая рыбная разведка
Рысканья период 3—286

С

Саггитальная поверхность изображения 4—378
Самовозбуждение колебаний — см. Генератор с самовозбуждением
—— синхронных машин 2—70
Самовыравнивание 3—287
Самовыравнивания время 3—288
Самонаведение летательных аппаратов 4—153
Самонастраивающаяся модель 3—288
—— —— линейного объекта 3—290
Самонастраивающаяся система 3—292, 198; 1—22; 4—167
— конструктивные ограничения 2—403
—— —— Вейгандта и Пюри 3—290
—— —— для обучения 2—402
—— —— Марголиса и Леондеса 3—290
Самонастраивающиеся автоматы 1—13
Самонастраивающиеся нейроны «Адалин» 2—276
Самообучающаяся система 1—493; 3—295
—— —— автоматической оптимизации 3—293
Самоорганизации процессы в живых организмах, моделирование 1—106
Самоорганизующаяся система 3—293, 295; 2—36; 4—167
«Самооткрывания ключей» эффект 3—39, 40; 4—87
ХУ-Самописец 2—114
Самоприспосабливающаяся система 3—293, 353; 4—166, 167
— классификация 3—294
Самосин — см. Сельсин
Самосинхронизация автоматическая 4—164
Самостоятельный разряд 3—298, 147, 1—388
—— —— искровой 1—509
Санатрон 3—300, 400
Сбой ЦВМ 3—301
— программа анализа 3—95
Сварка, индукторы для нагрева под С. 1—461
—— при высокочастотном нагреве 3—302
—— термопластических материалов 1—369
—— термопластов высокочастотная 3—303; 1—369
—— ультразвуковая 3—305
—— электронолучевая 3—305
Сварочные высокочастотные установки 3—304
Сверлильный автомат 1—12
Сверхпроводимость 3—307
Сверхпроводники 3—307
Сверхпроводящие магниты 3—308
Световой барьер 4—277
Световые единицы 2—528
Светопроводы 2—19
«Свиной цикл» 2—397
Свип-генератор — см. Генератор качающейся частоты
Свободная предметная переменная 3—61
Свободная составляющая 3—308; 1—156
Свободные колебания — см. Собственные колебания
Свободные связанные колебания 3—308
Свободных колебаний метод ультразвуковой дефектоскопии 4—121
Сводные показатели 1—24; 2—130
Связанная переменная 3—61
Связанные колебания 3—308, 372
Связанные цепи 3—308
Связанный контур 3—308
Связи канал — см. Канал, Канал акустический, Канал гидравлический, Длинная линия пневматическая, Канал радио и радиорелейный, Канал связи, Канал связи оптический, Канал телемеханический, Связь оптическая
—— коэффициент 3—310
—— степень 3—310
Связки в информационно-поисковом языке 2—367
Связность алгоритма 3—395
—— программы 4—353
Связь гальваническая 1—209; 3—310
—— емкостная 1—392; 3—310
—— комбинированная 3—310
—— критическая 3—310
—— на ИК лучах 1—496
—— оптическая 3—310
—— —— —— канал связи оптический 2—19
—— —— —— фотосмеситель 4—273
—— трансформаторная 4—101; 3—310
Сглаживающий фильтр 4—256
Сдвиг логической шкалы 2—204
—— фазы 3—312
Сдвига операция 2—63, 199
Сдвигающая цепь формирователя такта 4—271
Сдвигающий регистр — см. Регистр сдвига
Сегрегации коэффициент — см. Выращивание монокристаллов по Чохральскому, Зонная плавка
Сегнетова соль 1—282; 3—121
Сегнетоэлектрическое состояние 1—92
Седловая точка 1—296, 435; 2—293
Селективность автоматического устройства 3—312
—— электрической цепи — см. Избирательность
Селектор амплитудный 3—312
—— временной — см. Вентиль
—— частотный 3—312
Селектрон 4—245
Селекция телемеханических сигналов 3—312
Селен 3—313
— термообработка 4—30
Селеновый вентиль 3—33
Сельсин 3—314
—— бесконтактный 3—317
—— контактный 3—315
Сельсин-датчик 3—314
Сельсин-двигатель 4—212
Сельсин-дифференциал 3—316
Сельсинная дистанционная передача многообходная 1—351; 3—350
—— —— —— с усилением крутящего момента 1—355
Сельсинная передача дифференциальная 3—314, 316
Сельсинная система дистанционного измерения 1—356
Сельсин-приемник 3—314
Сельсин-трансформатор 3—316
Семантика 3—318
—— алгоритмического языка 4—443
—— исчисления 2—182
—— формализованного языка 2—186
Семантические множители 2—367
Семантический анализ наименований понятий 4—328
Семантический синтез наименований понятий 4—329
Семейство родственных алгоритмов 1—58
Семиотика 3—317; 2—182
Сепараторы коронные 4—419
—— пироэлектрический 4—418
—— рентгеновский 4—419
—— трибоэлектростатические 4—417
—— фотоэлектрический 4—419
—— электрические 4—403, 418
—— электростатические 4—418
Сепаратрисы 3—141
Сервомеханизм — см. Следящий привод
Сервомотор 3—319; 206; 1—32
Сервопривод — см. Исполнительный механизм
Сервоэлектродвигатели 1—514
Серебро хлористое 3—22
Серый ящик 4—324
Сетевой анализатор — см. Расчетный стол
Сетка барьерная 1—404
Сеточная характеристика электронных ламп 3—432
Сеточно-анодная характеристика электронных ламп 3—432
Сеточное ограничение амплитуды (напряжения) 2—411
Сеточные токи 2—157
Сигнал 3—319; 4—40
— временное совпадение двух С. 3—374
— выделение из шума 1—171
— динамический диапазон 1—332
— дифференцирование 1—362
— замирание 3—50
— обнаружение 1—485; 3—88
— оценка параметров 3—87
— прием на фоне помех 3—86
— различение нескольких С. 3—88
Сигнал времяимпульсный 1—277
—— главной обратной связи 1—270; 2—465
—— динамический 3—319
—— дискретный 1—345
—— импульсный 1—450; 4—41
—— непрерывный 2—380; 4—41
—— несоответствия 1—156
—— ω2—421, 3—143
—— ошибки 2—465
—— полезный 3—16; 2—428, 437; 4—252
—— поощрения 2—398, 399; 4—112
—— статический 3—319
—— считывания 4—246, 247
—— телевизионный полный 3—475
—— телемеханический 3—321
—— —— —— селекция 3—312
—— требования обмена 3—96
—— управления 3—104
—— шумоподобный 4—345
Сигнала модель 3—320
—— объем 3—320
Сигнализаторы 1—482
Сигнализация автоматическая 3—321
Сигналов пространство 3—322
Сигнал-оригинал 3—319
Сигнальная контролируемая величина 2—95
Сигнальная магистраль 2—210
Сигнальная пластина 1—404
Сигнальная ячейка 4—444
Сигнальные шины 2—210
Сигнатур блоки 2—208
Сигнифика 3—318

Сигнум-реле 4—359; 361
Силлогизм 2—180
Силовые вентили 3—34
Сильфон 3—322
Символика вычислительных машин 1—193
Символический адрес 3—322, 93; 2—415
Симметрирование цепей 2—176
Симметрическая логическая функция 3—323
Симметричная структура релейного устройства 3—323
Симплексные таблицы 3—324
Симплексный метод 3—323; 2—172
Синапсы 2—372, 381
Синтаксис алгоритмического языка 4—443
— формализованного языка 2—186
Синтаксическая вычислительная машина 4—348
Синтаксический анализ наименований понятий 4—328
— — при машинном переводе 2—259
Синтаксический синтез наименований понятий 4—329
Синтактика 3—318
Синтез (систем автоматического управления) 3—325
— автоматический 3—326; 2—450
— — на ЦВМ 3—327
— — с применением аналоговых устройств 1—83
— больших систем управления на расстоянии 4—6
— импульсной автоматической системы 2—171
— кибернетической системы, распознающей или различающей те же образы, что и некоторая другая система 2—393
— конечных автоматов 2—86
— линейных систем 3—325, 333, 337
— — — — — корневого годографа метод 2—115
— малочувствительных систем 4—334
— надежных автоматов из ненадежных компонентов 2—87
— нелинейных систем 3—326
— оптимального УУ в системе с максимальной информацией об объекте 3—340
— оптимальных алгоритмов — см. Синтез оптимальных систем
— оптимальных по быстродействию систем методом фазового пространства 3—328
— оптимальных систем 3—328, 326; 1—83; 2—432
— — — — частотный метод 4—321
— — — — в условиях нейтральной природы 3—344
— — — — по методу динамического программирования 3—332
— — — — по методу моментов 3—333
— — — — при конфликтных ситуациях 3—345
— — — — при помощи областей изохрон 3—330
— — — — с накоплением информации об управляемом объекте 3—341
— — — — с помощью принципа максимума 3—331
— — — — с распределенными параметрами 3—333
— — — структур моделирующего цифрового устройства 2—318
— — — — управления предприятием 2—453
— переводящего предложения 2—259
— переключательных схем 1—55, 56
— рабочих машин роторной автоматич. линии 3—281
— релейного многополюсника 3—267
— релейных схем при помощи машин 2—194
— релейных устройств (структур) 3—334, 262, 272, 273
— — — — — — — — — метод временных логических функций 3—335
— — — — — — — — — — графический В. Н. Рогинского 3—336
— — — — — — — — — —, использующий язык исчисления предикатов (метод Трахтенброта) 3—335
— — — — — — — — — —, исходящий из записи условий работы в языке регулярных событий (методы Клини и Глушкова) 3—335
— — — — — — — — — — — — канонический А. Ш. Блоха 3—337
— — — — — — — — — — — — каскадов Поварова 3—336
— — — — — — — — — — — — комбинаторный Ф. Свободы 3—336
— — — — — — — — — — — — минимизации структур, основанные на декомпозиции булевых функций 3—337
— — — — — — — — — — — — поглощения С. Колдуэлла 3—336
— — — — — — — — — — — — синтеза структур из логич. звеньев «и», «или», «не», из блоков, реализующих ф-цию Шеффера и др. 3—337
— — — — — — — — — — — — узловых таблиц состояний М. А. Гаврилова 3—337
— — — — — — — — — — — — Хаффмана 3—335
— — — — — — — — — автономных 3—264
— — систем автоматического управления 4—168, 59
— — систем, оптимальных в минимаксном смысле 3—344
— — — управления и регулирования, решение с помощью АВМ 1—71
— — следящей системы постоянного тока с миним. временем переходного процесса 2—432
— — статистически оптимальных систем 3—337
— — — — — — дуального управления 3—342
— — — — — — линейных 3—337
— — — — — — при заданных вероятностных распределениях 3—340
— — схем дискретного действия, использование аппарата алгебры логики 1—55
— — — — из пороговых элементов 2—193
— — управляющих систем, с участием человека 3—354
— — фильтра оптимального 4—252
— — — — электрического 4—259
Синтеза проблема в теории автоматов 1—44
Синусоидальное возмущение — см. Гармонические колебания, Воздействие
Синусоидальные колебания — см. Гармонические колебания
Синфазирование в системах ТУ—ТС 4—14
Синфазная антенна 1—91
Синхрогенератор 3—475
Синхроимпульс 3—347
Синхронизация 3—346
— в системах ТУ—ТС 4—14
— колебаний генератора 3—347
— работы машины (цифровой) 3—348
Синхронизирующие моменты 3—314
Синхронная вычислительная машина цифровая 3—349; 1—98; 4—171, 271
Синхронная передача 3—350
— импульсная система 3—350
— индукционная система 3—350
— система с меняющейся частотой 3—350
Синхронной связи система 3—350
— — — индуктивная 3—351
— — — с детектированием воздействия 3—351
— — — ферродинамическая 3—351
Синхронный детектор 1—315; 3—16
Синхронный сумматор цифровой 4—308
Синхропринт 2—498
Синхротрон 4—375
Система автоматического регулирования 3—201
— автоматического управления 4—166
— — — устойчивость 4—220
— — — экстремальная 4—357, 358, 359, 360, 361
— Г-Д — см. Генератор-двигатель система
— наилучшего выделения полезного сигнала из смеси сигнала с шумом 2—428
— с воздействием по производной 4—356
— со случайным входом 4—221
— счисления 3—351
— — перевод чисел из одной С. с. в другую 2—477
— — двоичная 1—292
— — двоично-десятичная 1—293
— — двоично-кодированная 1—294
— — девятиричная 1—299
— — троично-кодированная 4—106
— — десятичная 1—310
— — египетская 3—351
— — единичная 3—351, 352
— — позиционная 3—8
— — римская 3—352
— — с остатками 3—352
— — троичная 4—105
— — шестидесятеричная вавилонская 3—352
— — шестнадцатиричная 4—339
— «человек и автомат» 3—352, 112; 1—23; 2—37, 453; 4—159
— — — — — — — — — диаграммы оперативных этапов 3—114
— — — — — — — — — распределение функций между человеком и машинными звеньями системы 3—113
— — — — — — — — — сопряжение человека и машины в единое функциональное целое 3—114
— — человек и машина 3—112
Системы для наилучшего упреждения (экстраполяции) и интерполяции полезного сигнала 2—428, 437
— — с активным накоплением информации 4—165
— — с конечной памятью 3—339
— — с максимальной информацией об объекте 3—340
— — с максимальной неполной информацией об объекте 4—165
— — с накоплением информации об объекте 3—340; 4—165
— — с обратной связью 2—395
— — с пассивным накоплением информации 4—165
— — с полной информацией о методах управления 4—165
— — — — — — — — — об объекте 4—165
Ситуации конфликтные 1—434
— неопределенные 3—436
—, связанные с риском 3—436
Сканирование 3—355
— поиск С. 3—14
Сканирование текста 2—402

Сканирования метод решения конечных уравнений 1—86
Сканирующаяся система поисковая 2—383
— — — следящая 2—384
Скачкообразное возмущение — см. Ступенчатое воздействие
Скважность 3—356
Скептрон 3—356
Скиатроны 1—170
Скин-эффект — см. Поверхностный эффект
Склеивание высокочастотное 3—356
Скользящего начала (или конца) таблицы способ выбора значений функции 3—465
Скользящий режим 3—357
Скоростная постоянная 1—374
Скоростной коэффициент гидравлических исполнительных механизмов 3—358
Скорость выполнения операций 3—358
— передачи информации 1—483
— поверхностной рекомбинации 3—358
— создания сообщений 1—484; 4—338, 436, 438
— ультразвуковой волны 4—132
Скруббер-электрофильтр 4—423
Следящая автоматическая подстройка частоты 1—39
Следящая колонка 3—234
Следящая система 3—359, 205, 427
— астатизм n-го порядка 1—99
— добротность 1—374
— задающая ось 1—398
— качества показатели 2—27
— рассогласование 3—173
— синтез 2—432
— статич. регулирование 3—205
Следящая система быстродействующая 3—360
— — вибрационная 3—209
— — для преобразующего устройства 3—86
— — комбинированная 3—361
— — магнесинно-сельсинная 2—211
— — многомерная 3—204
— — объединенные 3—86
— — с несколькими воздействиями 3—362
— — с ограничением по нагреву 3—362
— — сканирующая 2—384
— — фотоэлектрическая 4—278
— — цифровая 2—300
Следящий пневмопривод поршневой 2—520
Следящий привод 3—363
Следящий прием 3—54
Слепой поиск 3—10
Слов композиция 2—83
— — предметное тождество 3—62
Словарная адресная система 1—487
Словарь автоматический 4—332
— — машинного перевода и поиск в словаре 2—258
— — основ слов 4—328
— — понятий 4—328
Слово в лингвистике 3—364
— — в теории алгоритмов 3—364; 2—48
— — машинное 3—365, 364; 2—203
Словоформы 2—258
Слоговое управление 3—106
Сложение (операция ЭВМ) 1—94
— — (n + m)-разрядное 2—49
— — циклическое к-разрядное 2—52
Сложные системы 3—365; 4—160
— массового обслуживания теория 2—249
— моделирование программное в реальном масштабе времени 2—307
— обратная связь 2—397
Служебная часть команды 2—63; 3—190, 440, 441
Слуховой орган, информац. способности 2—304
Случайная величина 3—366, 425
— отклонение среднее квадратичное 2—460
Случайная величина коррелированная 2—126
— — — некоррелированная 2—126, 127
Случайная погрешность измерения 2—524
Случайная последовательность 1—483
Случайная функция времени 1—123
Случайного выбора метод анализа задачи размещения 3—145
Случайное воздействие 3—367
Случайное возмущение — см. Случайное воздействие
Случайной информации обработка 1—479
Случайные сигналы и шумы, вопросы прохождения через радиотехнич. устройства 1—480
Случайные функции, канонических разложений метод исследования точности линейных систем 4—60
Случайные числа многоразрядные, формирование 1—287
Случайный полезный сигнал 3—16
Случайный процесс — см. Вероятностный процесс
Случайных чисел датчик 1—284
— — — получение 3—367
— — — — алгоритмический (программный) метод 3—367
— — — — аппаратурный (физический) метод 3—370
— — — — выборки из таблиц метод 3—367, 370
Смеситель — см. Преобразователь частоты
Смеситель (пороговый элемент) 2—184; 3—234
Смешанная стратегия 3—371; 2—438
Смешанные системы обслуживания 2—250
Смещение постоянное (в электронике) 3—371
— — автоматическое 3—371
Смыкание переходов 2—397; 4—80
Снабжение при неполной информации о спросе, задача 1—180
Собирательная схема 3—371; 1—193; 4—431
Собственная составляющая 3—308
Собственные движения в системе 2—170
Собственные колебания 3—372
Событие 3—372; 2—86
— — в теории вероятностей 1—125
Событий представление 3—63
Совместимые величины 3—162
Совмещение микроопераций в машине 3—373
— — операций в машине 3—373, 107, 190
— — — — — — — — локальное 3—373
— — прямых и инверсных представлений случайных цифр 1—287
Совпадений схема 3—374, 371; 1—119, 193; 2—473; 4—91, 431
Согласование 1—152; 3—375
— — сопряженное 3—375
Согласованная нагрузка 3—374
Согласованный фильтр 3—87
Согласующее устройство (в электрич. цепях) 3—375
Согласующий трансформатор 4—101
Солион 3—376; 1—107
— — электроосмотический — см. Солион-электрокинетический преобразователь
Солион-генератор давления 3—377
Солион-датчик давления и расхода 3—376
Солион-диод 3—376
Солион-интегратор 3—376
Солион-тетрод 3—377
Солион-тетрод-интегратор 3—377
Солион-усилитель 3—377
Солион-электрокинетический преобразователь 3—377
Солнечная батарея 3—377; 1—523
Солнечные термоэлементы 1—496
Сообщение 1—487; 3—319
Сообщений передача 1—484
Сообщения декорреляция 2—53
— — скорость создания 1—484
Сопло-заслонка 3—378
Сопротивление, надежность 2—357
— ресурс 3—279
Сопротивление активное 3—378; 2—174
— — внутреннее 3—379
— — волновое — см. Волновое сопротивление
— — входное 3—379; 4—433
— — емкостное 3—382
— — заземления 3—379
— — излучения 3—379
— — изоляции 3—379
— — индуктивное 3—382
— — магнитное 3—380
— — отрицательное 3—380
— — переменное 3—380
— — полное 3—381
— — постоянное 3—381
— — — — типа ВС 3—381
— — — — типа МЛТ 3—381
— — — — типа ОМЛТ 3—382
— — — — типа ОПЭВЕ 3—382
— — — — типа ПЛ 3—382
— — — — типа ПТ 3—382
— — — — типа ПЭ 3—382
— — — — типа РПЛ 3—382
— — — — типа УЛИ 3—382
— — — — типа УЛС 3—382
— — — — типа УНУ 3—382
— — привнесенное 1—444
— — реактивное 3—382
— — с памятью — см. Мемистор
— — удельное 3—382
— — электрическое — см. Сопротивление удельное
Сопряжение контуров 3—383
Сопряженная задача — см. Двойственная задача
Сопряженное согласование 3—375
«48-часовой эффект» 3—27, 40
Сортировальная машина 3—383
Сортирование перфокарт 3—383
Сортировка — см. Сортировальная машина
— — автоматическая в машиностроении 3—384
Сортировочный автомат 3—384; 2—101
Сосредоточенные объекты в телемеханике 3—385
Состава и свойств веществ автоматическая измерительная аппаратура 3—385
Состоятельная оценка 3—425
Спад (в импульсной технике) 1—506
Спациоэлектрокардиография 2—269
Спейсистор 3—388; 1—468
Спектр амплитуд 4—322
— — дискретный — см. Спектр линейчатый
— — линейчатый 3—389; 4—315, 322

—— мгновенный 4—323
—— непрерывный 3—389; 4—315, 322
—— операционный 2—62
—— текущий 4—323
—— фаз 4—322
—— частот электрический 3—388
—— частотный 4—322
—— энергетический 3—388; 2—462
Спектра анализатор 1—67
Спектральная плотность 1—480
Спектроболометр 2—505
Спектрограф 3—394
Спектрометр 3—394; 4—24, 135
Спектропирометр 2—502, 505; 4—23
Спектрорадиометр 2—505
Спектроскопия инфракрасная 3—391; 1—495
—— комбинационного рассеяния света 3—395, 394
—— оптическая 3—393
—— —— абсорбционная 3—395
—— —— эмиссионная 3—394
Спектрофотометр 2—505; 3—392, 394
Спесистор — см. Спейсистор
Специализированная цифровая машина 3—395
— команд система 2—62
Спиратрон 3—397; 4—207
Списки 3—99; 4—444
— гнездовой способ построения 3—100
— двухадресный способ построения 3—99
— узловой способ построения 3—100
—— продвигающиеся 4—444
Списковая обработка — см. Программирование ассоциативное
Списковая структура 3—99; 4—444
—— —— узловая 3—100
Списковые слова 3—100
Сплавной переход 3—397
Спонтанная активность 2—94
Спонтанное излучение 2—31
Спорадическая передача в системах ТУ—ТС 4—13
Спусковая схема 3—397
— триггер 4—103
Срабатывание релейного элемента 3—263, 268
Сравнение 3—401; 2—199
Сравнения элемент 3—206, 442
Сравнивающее устройство 3—402
—— —— случайного процесса 1—124
—— —— функции потерь 3—429
Среднее квадратичное отклонение 2—460
Среднеквадратичная динамическая погрешность 1—328
Средние значения 1—480
Средняя квадратическая погрешность измерения 2—524
Средняя квадратичная ошибка 2—465; 3—5
Средняя потеря 3—48
Среза частота 3—402, 146
Стабилизатор 3—402
—— коронного разряда — см. Стабилитрон коронного разряда
—— магнитного потока 3—404
—— напряжения 3—214, 215
—— —— и тока с подвижными обмотками 3—405
—— —— ферромагнитный 3—406
—— —— —— компенсационного типа с подмагничиваемыми исполнит. органами 3—406
—— —— —— параметрического типа 3—406
—— —— феррорезонансный 3—408
—— —— электронный 3—409; 2—423
—— параметрический 3—402
—— полупроводниковый 3—410, 413
—— с автотрансформатором, имеющим подвижную короткозамкнутую обмотку 3—405
—— с обратной связью 3—403
—— тока 3—413
—— транзисторный 3—410
—— частоты — см. Стабилизация частоты
—— электродинамический с подвижной обмоткой 3—406
—— электромагнитный с угольным столбом — см. Регулятор угольный автоматический
—— электронный — см. Стабилизатор напряжения электронный
Стабилизации вероятности способы 1—287
—— коэффициент 3—414, 85
—— система 3—414
Стабилизация 3—415
—— динамических характеристик системы 3—290
—— импульсная 3—415
—— непрерывная 3—416
—— параллельная 3—416
—— последовательная 3—417, 416
—— усиления — см. Автоматическая регулировка усиления
—— частоты автогенераторов 3—417
Стабилизирующая цепь 3—420
Стабилизирующей адаптации системы 3—295
Стабилитрон 2—423, 509
—— коронного разряда 3—421; 1—501
—— кремниевый 3—421, 410
—— тлеющего разряда 3—423; 1—501; 4—343
Стабилография 2—266
Стабильность нуля — см. Дрейф нулевого уровня
—— параметров полупроводниковых приборов — см. Надежность полупроводниковых приборов
Стабистор 3—422
Стальные цепи 2—174
Старение кварца 3—240
—— проводов 2—119
—— элементов электронной аппаратуры 3—425
Стартстопные строкопечатающие устройства 2—498
Стартстопный перфоратор 2—495
Статика регулирования 3—205, 202
Статикон 4—392
Статистическая динамика, решение задач с помощью АВМ 1—84
Статистическая компенсация 2—74
Статистическая линеаризация 2—164
Статистическая решающая функция 4—63
Статистическая теория оптимальных систем 2—436; 4—61, 62, 64
Статистические критерии оптимального управления 2—426
Статистические оценки 3—425
Статистические свойства измеряемой величины —см. Числовые характеристики результатов измерения
Статистический анализ точности динамических систем 3—427; 4—59
Статистический контроль 2—102
Статистический поиск 3—15
Статистически-оптимальные системы 2—433
Статистических испытаний метод — см. Монте-Карло метод
Статистических решений теория 3—429
— оптимальные стратегии 2—437
Статистическое исследование языка 2—162
Статистическое кодирование 2—52; 3—50, 54
Статическая модель переменного тока — см. Расчетный стол
Статическая операционность системы команд ЦВМ 2—62
Статическая ошибка 3—431, 197; 4—59
Статическая система 3—431
Статическая точность САР 4—64
Статическая характеристика 3—431; 2—409
Статические характеристики и параметры электронных ламп 3—432
—— —— транзистора 4—82
Статический расчет 3—434
Статический регулятор 3—227, 207, 212, 213
Статическое регулирование 3—202, 205, 227
Стационарное случайное воздействие — см. Случайное воздействие
Стационарный процесс — см. Стационарный режим
Стационарный разряд 3—150
Стационарный режим 3—435
Ствол радиолинии 2—12
Стеклянный лазер 3—435, 311
Стенотрон 1—503
Степень поверхностной ионизации 4—29
—— свободы 3—436; 2—114
Стерегущее устройство 4—357
Стержневые ультразвуковые концентраторы 1—152
Стигматор 4—379
Стилометр 3—394
Стилоскоп 3—394
Стилятор 3—161
Стимулятор электронный 2—270
Стирание информации в ЦВМ 3—436
Стирающая магнитная головка 2—214
Стоимость млн. полезных операций ЭВМ 4—352
—— надежности ЭВМ 4—352
—— решения задачи на ЭВМ 4—353
—— часа работы ЭВМ 4—352
Столб тлеющего разряда 4—56
Стохастический процесс — см. Вероятностный процесс
Стохастическое программирование 3—436; 2—255
Стратегии оптимальные 2—437; 1—435
Стратегия (в теории игр) 3—437; 1—434
—— смешанная 3—371; 1—435; 2—438
—— чистая 1—435
Стрелка Пирса — см. Пирса операция
«Стретч» (вычислит. система) 4—297
Стримерный разряд 2—118
Стримеров теория 1—509
Строб дальности 3—438
—— скорости 3—438
Стробирование 3—437
Струйная техника 3—438
Струйное реле 3—439
Струйно-резцовый метод регистрации 3—194
Струйно-химический метод регистрации 1—194
Струйный метод регистрации 3—193
Струйный усилитель 3—439
Струйный элемент 3—439
Структура инверсная 1—451
—— итеративная 1—523
—— класса «II» — см. Мостовая структура
—— класса «П» — см. Параллельно-последовательная структура
—— команд 3—440; 2—63
—— —— трансформируемая 4—103
—— плоская 2—511
—— пространственная 3—109
—— релейного устройства 3—260
—— симметричная 3—323
—— списковая 3—99
—— ЦВМ, проектирование 3—105
Структурная избыточность 3—234
Структурная схема (в регулировании) 3—442
— дифференцирующее звено 1—363
— запаздывающее звено 1—401
— интегрирующее звено 1—472
— колебательное звено 2—60
— нелинейное звено 2—376
Структурная схема программы 1—302
Структурная теория автоматов 1—43
Структурная устойчивость 4—223
Структурная формула релейной цепи 3—444
Структурное резервирование 3—234
Структурные матрицы 3—444
Структурный анализ релейных устройств 3—271
Структурный синтез релейных устройств 3—272, 273, 335
Струнный датчик 1—288
Ступенчатое воздействие 3—444
Стьюдента распределение 2—524
Субблок — см. Блок стандартный
Сульфат лития 3—121, 122
Сумма (в логике) 1—53
Сумматор 3—445, 40, 373
—— адресов 3—190; 4—174
—— асинхронный цифровой 4—308
—— Кирхгофа 4—308
—— матричный 2—484; 4—308
—— накапливающего типа 4—308, 309
—— пневматический 2—517; 1—191
—— синхронный цифровой 4—308
—— цифровой 4—308
Суммирование телеизмеряемых величин 3—445
Суммирующая камера пневматическая 2—8
Суммирующая цепь 3—447
Суммирующее устройство — см. Сумматор
Суммирующие машины 1—186
Суммирующий дифференциал 3—445
Супергетеродин 3—447
— автоматическая подстройка частоты 1—39
— преобразователь частоты 3—81
— сопряжение контуров 3—383
— усилитель промежуточной частоты 4—203
Супериконоскоп 3—448; 2—481; 4—392
Суперортикон 3—448, 475; 2—481; 4—392
Суперпозиции принцип 3—448; 2—170
Суперстабилизатор — см. Стабилизатор магнитного потока
Суперэмитрон 4—392
Сушка 3—448
—— в ИК лучах 1—496
—— индукционная лакокрасочных покрытий 3—452
—— конвективная 3—448
—— контактная 3—450
—— материалов диэлектрическая 3—453
—— токами ВЧ 3—449
—— ультразвуковая 3—454
Сфигмография 2—265
П-схема—см. Параллельно-последовательная структура
Схема да — нет 3—398; 4—103
—— программы 2—78
—— со средней точкой 2—33
—— ШОУ 3—50
Сцентрон — см. Скептрон
Счета схема 3—455
Счетно-аналитическая вычислительная машина — см. Перфорационная вычислительная машина
Счетно-записывающие машины 1—186
Счетно-клавишные машины 1—185
Счетно-перфорационная машина — см. Перфорационная вычислительная машина
Счетно-решающее устройство — см. Вычислительное устройство
Счетный триггер 3—457
Счетчик импульсов 3—456; 4—306
—— —— электромеханический 3—456
—— —— электронный 3—457
—— команд 3—458, 191, 373; 2—210; 4—174
—— цифровой машины 4—307
—— числа объектов 3—477
Счетчики циклов 4—290
—— частиц 1—501, 503
Счисления система — см. Система счисления
Счислимые выражения 1—189
Считывание 3—458; 1—409; 2—214
—— из ячейки 2—196
—— информации неразрушающее 3—459
Считывания блок 1—409
—— время 3—460, 458
—— сигнал 4—246, 247
Считывающие устройства 3—196

Т

Таблица адресная отсылочная 3—107
—— включений 3—461, 272
—— выходов 3—463
—— для описания алгоритмов 3—466
—— зависимости от параметра 3—103
—— информационная логическая 3—462
—— исключений 2—78, 79
—— истинностная 2—187, 190
—— —— двоичного сумматора на три входа 4—308
—— —— Шеффера функции 4—340
—— регулярная относительно одного или нескольких своих аргументов 3—465
—— о двух входах 3—464
—— обучающая 3—295
—— объектно-характеристическая 3—461
—— переходов 3—462, 265, 272, 335
—— почти-регулярная относительно одного или неск. своих аргументов 3—465
—— регулярная относительно одного или неск. своих аргументов 3—464
—— симплексная 3—324
—— синтаксических конфигураций 2—259
—— случайных чисел, методы выборки 3—367, 370
—— состояний релейного устройства 3—463, 261, 263, 265, 271, 335
—— —— —— —— — безразличное состояние 1—102
—— —— —— —— — неиспользуемое состояние 2—370
—— характеристик 2—79
—— —— операторов 3—102
Табличное задание функции 3—464; 1—397
Табло электролюминесцентное 4—369
Табсол 3—466
Табуляграмма 3—467
Табулятор 3—468; 1—30
Таймтактор 3—468
Тайпотрон 3—469; 1—407
Такт работы машины 3—469; 4—271, 293
— переменная длительность такта 2—485
— формирователь такта 4—271
Такт работы релейного устройства 3—470
Тактовые периоды многоканальной передачи 2—12
Тартрат калия 3—122
Таситрон 1—503
Тасования сообщений метод 4—14
Таунсенда коэффициент 1—498
Таунсендовский разряд 2—383
Тахогенератор 3—470; 1—364
Твердая схема 3—470; 2—285, 287, 329
Твердая схема выращенная 2—329
—— —— интегральная 3—471
—— —— микронных размеров 2—329
—— —— формируемая 2—329
—— —— функциональная 3—471
Твердые растворы внедрения 1—365
—— —— замещения 1—365
—— —— смешанные 1—365
Твистор 3—472; 1—414; 4—247
Тезаурус 3—473; 2—257, 366
Текущее значение 3—473
Телеавтоматическая система 3—473; 1—34; 4—13
Телеавтоматический контроль 4—42
Телеавтоматическое регулирование 4—42
Телеавтоматическое управление 4—42
Телевидение прикладное 3—475
—— промышленное 3—477
Телевизионная автоматика 3—476
Телевизионная антенна 1—91
Телевизионная передающая трубка 2—479
Телевизионная приемная трубка 3—89
Телевизионная техника в медицине 2—267
Телевизионный автомат 3—476
Телевизионный датчик 3—479, 476
Телевизионный сигнал полный 3—475
Телевизионный ультрафиолетовый микроскоп 2—267
Телегон схема 1—350
Телединамометрирование 3—479
Телеизмерение 3—479; 1—348
— регистрация показаний 3—196
Телеизмерения выходной прибор 1—184
—— датчик 1—289
—— ошибка — см. Телеизмерения погрешность
—— погрешность 3—5
—— помехоустойчивость 3—51
Телеизмерительная система 3—481, 479; 4—5, 9
— время установления показаний 1—165
— модуляция 2—325
—— —— время-импульсная 3—481, 480
—— —— интенсивности 3—483, 480; 4—10
—— —— кодо-импульсная 3—483, 480
—— —— многоканальная 3—484, 480, 139

—— —— с кодовыми сигналами 4—10
—— —— с модулированными сигналами 4—10
—— —— токоуравновешенная 3—485, 483
—— —— частотная 3—485
Телеизмерительный преобразователь 3—72
—— —— с обратной связью 3—74
Телеизмеряемой величины воспроизведение 1—157
Телеизмеряемых величин суммирование 3—445
Телекомандование 4—5; 2—65
Телеконтроль 4—5
— рассредоточенные объекты 3—173
Телеметрия — см. Телеизмерение
Телемеханизация 4—5; 1—24
Телемеханика 4—5; 1—24
— избирание 1—436
— избиратель частотный 1—437
— квитирование 2—32
— кодирование 2—53
— модуляция 2—325
— применение устройств Т. в газовой промышленности 4—7
— —— —— —— в горнорудной промышленности 4—8
— —— —— —— в машиностроении 4—7
— —— —— —— в металлургии 4—7
— —— —— —— в нефтяной промышленности 4—7
— —— —— —— в угольной промышленности 4—8
— —— —— —— в химической промышленности 4—7
— —— —— —— в энергетике 4—6
— —— —— —— для оросительных систем 4—8
— —— —— —— на железнодорожном транспорте 4—8
— —— —— —— на магистральных трубопроводах 4—7
— радиолиния в Т. 3—136
— разделение каналов 3—143
— распределитель устройств 3—169
— рассредоточенные объекты 3—173
— сосредоточенные объекты 3—385
— эффективность передачи информации 4—440
Телемеханическая система 4—9
— генератор импульсов 1—217
— —— частоты 1—247
— испытания 1—514
Телемеханическая система для рассредоточенных объектов 4—10
Телемеханический канал 2—19
Телемеханический контроль 2—97; 4—42
Телемеханический релейно-контактный распределитель 3—167
Телемеханический сигнал 3—321
Телемеханические сигналы, селекция 3—312
Телемеханическое управление 4—42
Телеотключения канал 2—14
Телерегистрация физиологических процессов 2—268
Телерегулирование 4—12
Телесигнализации система 4—5, 9
Телесигнализация 4—12; 1—347
Телескоп электронный 4—393
Телескопическая антенна 1—92
Телескопы радиационных пирометров 2—503
Телетайп 2—498
Телеуправление 4—12; 1—348
—— летательными аппаратами 4—152
—— циркулярное 2—65
Телеуправления ключи устройств 2—45
—— команда 2—65
—— помехоустойчивость 3—54
Телеуправления система 4—5, 9
Телеуправления — телесигнализации система
— быстродействие 1—111
— воспроизведение сигналов 1—156
— дешифратор 1—323
— защита 1—419
— емкость 1—395
— испытания 1—514
— надежность 2—355
— разделитель устройств телемеханики 3—169
—— —— —— с временным разделением элементов сигнала 4—13
—— —— —— с частотным разделением элементов сигнала 4—16
Телефон оптический 1—497
Телефония, динамический диапазон 1—332
Темновая проводимость 4—274
Темновой ток 4—280
Темное катодное пространство тлеющего разряда 4—56
Темный разряд 4—17, 51; 2—382; 3—208
Темный щит для телесигнализации 4—12
Температура избыточная — см. Температура шумовая
—— радиационная 2—503
—— термодинамическая 4—18
—— точки росы 1—137
—— цветовая 2-505
—— черная 4—20
—— Шоттки 4—37
—— шумовая 4—343
—— эквивалентная — см. Температура шумовая
—— эффективная — см. Температура шумовая
—— яркостная 2—501
Температурный диапазон запоминающих элементов 4—247
Температурный дрейф коэффициента усиления транзисторов по току 3—39
Температурный коэффициент емкости автогенератора 3—418
—— —— индуктивности автогенератора 3—418
—— —— скорости звука 4—133
—— —— частоты автогенератора 3—418
—— —— —— кварцевого резонатора 3—239
Температурных полей измерение 4—24
Температуры измерение 4—18, 439
— пирометр оптический 2—501
— —— радиационный 2—503
— —— цветовой 2—505
—— регулирование 3—199, 211, 213, 214, 223, 228
Теневая регистрация 3—192
Теневой метод ультразвуковой дефектоскопии 1—321; 4—120
Теневой рентгеновский микроскоп 4—396
Тензодатчик 4—25; 1—276
Тензометр 4—26
—— механический 4—26
—— оптико-механический 4—26
—— пневматический 4—26
—— полупроводниковый 4—27
—— струнный 4—26
—— электрический 4—26
Теорема 2—186
Тепловое реле 3—255
Тепловое сопротивление полупроводникового прибора 4—27
Тепловой детектор — см. Болометр полупроводниковый
Тепловой пробой полупроводниковых приборов 4—28
Тепловой шум 4—342, 346
Тепловые единицы 2—526; 4—19
Тепловые погрешности 4—19, 20
Теплопеленгация 1—497
Теплопроводность полупроводника 3—28
Терм логической схемы 2—199
Термистор — см. Термосопротивление полупроводниковое
Термические индикаторы ИК излучения 1—494, 496
Термический метод регистрации 3—194
Термоавтоэлектронная эмиссия 1—45
Термоанемометр — см. Расходомер тепловой
Термобатарея 4—29
Термодетектор 1—311
Термодинамические флуктуации 4—267
Термоионная эмиссия 4—29
Термоискровый метод регистрации 3—194
Термокомпенсация частоты автогенератора 3—418
Термокраски 4—22
«Термокрест» 4—31
Термометр 4—21, 22
—— манометрический, динамическая коррекция 1—328
—— сопротивления 4—29, 19, 22; 1—276
Термометрический зонд — см. Термоприемник
Термометрия 4—18
Термообработка монокристаллов кремния 2—135
—— полупроводника 4—30
Термопара 4—30, 19, 22; 1—276, 522; 3—228
— динамическая коррекция 1—327
Термопластическая регистрация 3—192
Термопластические ленты 1—412
Термопластические материалы, диэлектрич. нагрев 1—369
Термопреобразователь 4—31
Термоприемник 4—19
Терморегуляция в организме 2—396
Термосопротивление 4—32; 3—229
—— полупроводниковое 4—32; 2—263
Термостат полупроводниковый 4—33
Термотриостат 4—34
Термоэдс 4—34
Термоэлектрические свойства полупроводников (проводников) 4—34
Термоэлектрический генератор 4—35; 1—522
Термоэлектрический микротом 4—36
Термоэлектрический радиационный пирометр 2—504
Термоэлектрический холодильник 4—35
Термоэлектрический эффект 1—522
Термоэлектрическое охлаждение (нагревание) 4—36; 3—20
Термоэлектронная дуга 1—388
Термоэлектронная эмиссия 4—37; 3—128
Термоэлектронные вакуумные диоды 1—336
Термоэлектронный катод 2—22
Термоэлемент полупроводниковый 4—39
Термы исчисления 2—187
—— языка 2—186; 3—61
Тесистрон — см. Транзистор униполярный
Тестпрограмма — см. Испытательная программа
Тесты 4—39

—— плавающие 2—356
Тетрагональная кристаллическая система 2—330
Тетрады 1—293
Тетрадь таблиц о двух входах 3—464
Тетрод 4—39; 2—152
—— лучевой 2—208, 156
—— полупроводниковый 4—40
—— —— с двумя базовыми выводами 4—40
—— —— с управлением поверхностным потенциалом 4—40
—— —— униполярный — см. Транзистор униполярный
—— разборный 2—153
—— с переменной крутизной 2—155
—— широкополосный 2—209
Технические приборы 1—446
Технические средства автоматизации 4—40
Тип команды 2—62
Типов теория 3—61
Типовая ячейка релейного устройства 1—523
Типовое воздействие 4—45; 1—146
— реакции на Т. в. 3—189
Тиратрон 1—248; 4—344
—— дугового разряда 4—46; 1—389, 502
—— импульсный 4—47; 1—450, 503
—— логический 4—49; 1—503
—— с холодным катодом — см. Тиратрон тлеющего разряда
—— тлеющего разряда 4—51; 1—502; 3—400
—— электрометрический 4—52
Тиратронный генератор 1—246
Тиристор 4—53, 233
Титанат бария 1—282; 3—122, 123, 124
Титратор автоматический 4—54
—— —— амперометрический 4—55
—— —— кондуктометрический 4—55
—— —— потенциометрический 4—54
—— —— термохимический 4—55
—— —— фотометрический 4—55
Ткацкий автомат 1—11
Тлеющего разряда стабилитрон 3—423
—— —— тиратрон 4—51; 1—502; 3—400
Тлеющий разряд 4—55; 3—150, 298
— использование 1—503
— обработка шерсти 4—404
Тлеющий разряд аномальный 4—56
—— —— нормальный 4—56
Ток возбуждения запоминающих элементов 4—247
—— насыщения 1—336; 2—383, 398
—— проводимости 2—157
—— темновой 4—280
—— утечки в фотоэлементах 4—280
—— фотоэмиссии 2—157
Токовый дрейф коэффициента усиления транзисторов по току 3—39
Толщиномер 1—322; 4—57
—— радиоизотопный 3—135
—— резонансный 4—120
Толщинометрия ультразвуковая 4—127
Толщины покрытия измерения 4—56
— вихревых токов метод 4—57
— емкостный метод 4—57
— обрывной метод 4—57
— радиоактивный метод 4—56
— сопротивления метод 4—57
— термоэлектрический метод 4—57
— электромагнитный метод 4—57
Томсона эффект 4—34
Топливные элементы 1—523
Торговые автоматы 1—11
Торсиометр 4—135
Точечного преобразования диаграмма 4—58, 218
Точечные оценки 3—425
Точка разрыва 1-го рода 2—142
Точность динамическая при случайных воздействиях, частотный метод анализа 4—320
—— —— при типовых воздействиях, частотный метод анализа 4—320
—— —— САР 4—64; 3—189
—— линейных систем 4—59
—— нелинейных систем 4—61
—— оценки 3—426
—— систем автоматического управления 4—58, 168
—— —— —— —— статистический анализ 3—427
—— статическая САР 4—64; 3—189
—— ЦВМ 4—65
Травление 4—65
Траектория заряженных частиц 4—376
Транзистор 4—66, 245
—— германиевый 4—68, 66, 71, 75
—— диффузионный 4—67, 68
—— дрейфовый 4—68, 87
—— —— —— допустимые обратные напряжения на переходах 4—70
—— —— —— емкости переходов 4—70
—— —— —— коэффициент усиления 4—70
—— как фототранзистор 4—275
—— как эквивалентный четырехполюсник 4—81, 85
—— канальный — см. Транзистор униполярный
—— кремниевый 4—71
—— —— планарный 2—511
—— микромодульный 2—292
—— микросплавной 4—73, 71
—— —— —— напряжение прокола 2—362
—— переключающий 4—74
—— планарный 4—67, 71, 73
—— поверхностно-барьерный 4—75
—— полевой — см. Транзистор униполярный
—— сплавной 4—66, 74, 87
—— точечный 4—75, 275
—— униполярный 4—76
Транзистора время переключения 1—164
—— —— срабатывания 3—263
—— дрейф коэфф. усиления по току 3—39
—— засыпания триггера эффект 3—40
—— коэффициент инжекции 1—469
—— надежность 2—354
—— параметры 4—77
—— —— —— максимальная частота генерации 4—79
—— —— —— методы измерения 4—76
—— —— —— наибольшее допустимое напряжение между коллектором (эмиттером) и базой 4—80
—— —— —— наибольшая рассеиваемая мощность 4—80
—— —— —— наибольшая температура коллекторного перехода 4—80
—— —— —— нестабильность 3—39
—— —— —— предельная частота усиления по току 4—77
—— —— —— предельно допустимые эксплуатационные данные 4—79
—— —— импульсные 4—81
—— ——, характеризующие длительности переходных процессов 4—81
—— ——, характеризующие транзисторный ключ в стационарном положении 4—81
—— —— электрические 4—78
—— прокол 2—398
—— самооткрывание 3—40; 4—87
—— смещение автоматическое 3—371
—— «48-часовой эффект» 3—27, 40
—— старение искусственное 3—425
—— статические характеристики 4—82
—— тепловое сопротивление 4—28
—— умножение носителей заряда в коллекторном переходе 4—141
—— частотные свойства 4—83
—— шумы 4—84
—— эквивалентная схема 4—84, 69
Транзистор-меза 4—86, 71, 74
—— эпитаксиальный 2—511
Транзисторная спусковая схема 3—400
Транзисторные логические элементы 2—207
Транзисторный преобразователь — см. Полупроводниковый преобразователь постоянного тока
Транзисторный релейный двухпозиционный элемент 3—266
Транзисторный стабилизатор 3—410
Транзисторный телемеханический бесконтактный распределитель 3—166
Транзисторный усилитель 4—197, 204, 210; 2—207
Транзисторов скоростные характеристики 4—86
Транзитронный генератор 1—247
Транзитронный эффект 1—247
Транслятор 3—98; 4—171, 272, 292, 445
Транспонирование операций 3—62
Транспортная задача 4—88; 2—171
— венгерский метод решения 1—118
— потенциалов метод решения 3—58
Транспортная задача матричная 4—90
—— —— с запретами 4—88
—— —— с ограниченными пропускными способностями коммуникаций 4—88
—— —— сетевая 4—90
Трансфлюксор 4—91, 246; 1—410, 412; 2—387; 3—460
Трансформатор, защита 1—424, 426
—— быстронасыщающийся 3—251
—— входной 4—92, 97
—— выпрямительный 4—92; 1—175
—— —— малой мощности — см. Трансформатор питания
—— высокой частоты 4—94
—— выходной 4—94; 97
—— для индукционного нагрева повышенной и высокой частоты 4—94
—— измерительный 4—96
—— импульсный 4—96
—— как пик-трансформатор 2—500
—— межкаскадный 4—97
—— микромодульный 2—292
—— многообмоточный 4—99
—— низкой частоты 4—97
—— однообмоточный 4—98
—— питания 4—98
—— подмагничиваемый 3—215
—— полных сопротивлений — см. Трансформатор сверхвысоких частот

—— сверхвысоких частот 4—99; 3—375
—— —— —— с диэлектрическими шайбами 4—100
—— —— —— типа одиночной передвижной реактивной проводимости 4—99
—— —— —— четвертьволновой 3—375; 4—99
—— —— —— шлейфовый 4—100
—— силовой 4—100
—— согласующий 4—101
—— шлейфовый 3—376
Трансформатора эквалентная схема 4—351
Трансформаторная связь 4—101; 1—458; 3—308
— коэффициент связи 3—310
Трансформаторная схема Мэллока 1—87
Трансформаторный датчик 1—289, 444
Трансформаторный магнитно-вентильный логический элемент 2—206
Трансформации коэффициент 4—101
Трансформирующее согласующее устройство 3—375
Трапецеидальная характеристика 4—101, 320
Трапецеидальных частотных характеристик метод 4—101
Трахтенброта Б. А. метод синтеза релейных устройств 3—335
Трение в регулировании 4—102
Трехадресная команда 3—440
Трехадресная машина 4—103; 1—49; 2—64
— контролирующая подпрограмма 1—518
Трехзначная логика 2—190
Трехзначный пороговый элемент 3—267
Трехполюсник 4—325
Трехфазная двухтактная (мостовая) схема 1—176
Трехфазная однотактная схема выпрямления 1—176
Трибоэлектрический метод регистрации 3—195
Трибоэлектростатические сепараторы 4—417
Трибоэффект 4—417
Тригатрон 1—503
Триггер 4—103, 246
— время срабатывания 3—263
Триггер динамический 1—399
—— реактивный 3—399
—— реостатный 3—398
—— со счетным входом 3—457
Триггерные свойства оптрона 2—452
Тригональная кристаллическая система 2—330
Триклинная кристаллическая система 2—330
Триммер радиотехнический 4—103; 2—84
Триод 4—104; 1—254; 2—156, 388
— анодная характеристика 3—434
— анодно-сеточная характеристика 3—434
— внутреннее сопротивление 3—434
— емкость выходная 1—393
— —— проходная 1—395
— коэффициент усиления 3—434
— крутизна характеристики 3—434
— проницаемость 3—434
— сопротивление внутреннее 3—379
— эквивалентное сопротивление внутриламповых шумов 4—264
Триод двойной 2—159
—— как индикаторная лампа 1—457
—— кремниевый — см. Транзистор кремниевый
—— маячкового типа 2—147; 4—206, 207
—— миниатюрного типа 2—148
—— полупроводниковый, время диффузии носителей заряда 1—162
—— —— — время переключения 1—164
—— —— — емкость диффузионная 1—394
—— разборный 2—153
—— регулировочный 2—151
—— СВЧ генераторный 2—152
Триодный лазер 3—31
Троичная система счисления 4—105
—— —— —— с неотрицательной базой 4—105
—— —— —— с неположительной базой 4—106
—— —— —— с симметричной базой 4—105
Троично-кодированная девятиричная система счисления 4—106
Тройки 4—204
Тропикализация аппаратуры 4—106
Трохотрон 4—107; 2—68; 3—170, 171
Тунгар 1—207, 389, 503
Туннельные диоды в усилительных схемах 4—200
Туннельный диод 1—342; 2—388; 3—401; 4—425—247
— шумы 4—266
Туннельный переход 1—428
Туннельный эффект 4—380
Турборасходомер 3—178
Тьюринга машина 4—109; 1—43
Тяжелого шарика метод 2—378

У

Увлечения электронов фононами эффект 4—34
Угол отсечки 4—112
Ударная ионизация в полупроводниках 1—499
Ударный механизм передачи энергии рекомбинации 3—245
Удвоитель частоты 3—80
—— —— Жоли — Эпштейна 3—80
—— —— мостовой 3—80
—— —— трехфазный 3—80
Удельное эквивалентное напряжение шума на сетке 4—264
Узел напряжения (или тока) в длинной линии 1—149
Узловая обработка — см. Программирование ассоциативное
Узловой способ построения списков 3—100
Узловые списковые структуры 3—100
Узнающая машина 4—112; 2—393, 398
Указатель заглавий статей, автоматич. составление 3—367, 368
Ультразвук 4—115
Ультразвука излучатель 1—441
—— —— гидродинамический 1—264
—— —— механический 2—278
—— —— фокусирующий 4—268; 3—124
—— измерение поглощения 1—442
—— —— скорости 1—443
—— интенсивность 1—475
—— источник 1—522
—— поглощение 4—116
—— приемник 3—91
Ультразвуковая дегазация 1—299
Ультразвуковая дефектоскопия 4—119; 1—321; 2—11
— визуализация звуковых полей 1—129
— импедансный метод 1—321; 4—121
— импульсный метод 1—321
— поверхностного рельефа метод 1—130
— резонансный метод 1—321; 4—120
— свободных колебаний метод 4—121
— теневой метод 1—321; 4—120
— эхометод 4—120
Ультразвуковая зубоврачебная бормашина 2—271
Ультразвуковая кавитация 2—6
Ультразвуковая коагуляция 4—121
Ультразвуковая кристаллизация 4—122
Ультразвуковая линия задержки 2—177
— время задержки 2—178
— затухание 2—178
— полоса пропускания 2—178
— рабочая частота 2—178
— уровень ложных сигналов 2—178
Ультразвуковая люминесценция 2—209
Ультразвуковая очистка 4—122
Ультразвуковая пайка 4—124
Ультразвуковая рыбная разведка 4—125
Ультразвуковая сварка 3—305
Ультразвуковая сирена 4—125
Ультразвуковая сушка 3—454
Ультразвуковая технология 4—126
Ультразвуковая толщинометрия 4—127
— импульсно-резонансный метод 4—127
— импульсный метод 4—127
— резонансный метод 4—127
Ультразвуковая фокусирующая система 4—268
Ультразвукового давления измеритель 4—128
Ультразвукового интерферометра метод измерения скорости ультразвука 1—443
Ультразвуковое диспергирование 4—129
Ультразвуковое долбление 4—131
Ультразвуковое распыление 4—129
—— —— высокочастотное 4—130
—— —— низкочастотное 4—130
Ультразвуковое резание 4—130; 4—422
Ультразвуковое туманообразование — см. Ультразвуковое распыление
Ультразвуковое эмульгирование 4—132
Ультразвуковой виброметр — см. Ультразвуковой измеритель вибраций
Ультразвуковой вискозиметр 1—131
Ультразвуковой волновод 1—152
Ультразвуковой волны скорость 4—132
Ультразвуковой генератор импульсов 4—134
—— —— машинный 4—135
Ультразвуковой измеритель вибрации 4—135
—— —— уровня 4—137
Ультразвуковой контроль 4—137
Ультразвуковой ламповый генератор 4—138
Ультразвуковой метод вискозиметрии 1—133
Ультразвуковой расходомер 3—181
Ультразвуковой свисток 4—141
Ультразвуковой уровнемер волновой 4—189
Ультразвуковые воздействия на организм 2—271
Ультразвуковые изображения 1—129; 4—268
Ультразвуковые колебательные системы, добротность 1—375
Ультразвуковые поля, исследование 1—520
Ультразвуковые станки 4—131
Ультранитуиционизм (в математике и логике) 2—189
Ультракорона 2—118
Ультратермостат 4—33
Умножающие схемы 1—101
Умножение (на ЭВМ) 1—94
—— носителей заряда в коллекторном переходе транзистора 4—141
Умножитель полупроводниковый 4—142
—— фотоэлектронный 4—278, 397

—— частоты 4—143; 3—80
—— —— — двукратная схема 1—296
—— —— — двухтактная схема 1—297
—— электронный 4—397
Умформер 1—523
Универсальная головка 2—213
Универсальная цифровая машина 4—144
Универсальный алгоритм 4—111
Универсальный $1,2^n$-полюсник — см. Многополюсник универсальный n переменных
Униполярный генератор импульсов 1—222
Унитермы 2—366
Уолтера черепахи 4—148; 2—272
Уплотнение каналов частотное 4—316; 2—12
—— линий связи ВЧ 2—174
Управление 4—149, 166
—— автоматическое 4—42
—— —— — код 2—49
—— —— — контроль автоматический 2—95
—— —— — Международная федерация по автоматическому управлению 2—274
—— —— — синтез систем 3—325
—— —— — устойчивость систем 4—220
—— вводом и выводом данных для ЦВМ 4—150
—— дистанционное 1—357
—— дуальное 1—385
—— летательными аппаратами автоматическое 4—151; 3—198
—— локомотивами автоматическое 4—157
—— микропрограммное 2—290; 3—108
—— научными и инженерными разработками с применением ЦВМ 4—312
— — операциями 4—158
—— —— при неопределенности 4—158
—— —— при определенности 4—158
—— —— при риске 4—158
—— оптимальное 2—431
—— —— — критерий 2—425
—— подвижными надводными объектами автоматическое 4—161
—— подвижными подводными объектами автоматическое 4—162
— — программное 3—104
—— —— с применением управляющих слов 3—106
—— производством, организация 2—453
—— реальными объектами и процессами с применением ЦВМ 4—311
—— режимами энергосистем автоматическое 4—163
—— с накоплением информации 4—165
—— телеавтоматическое 4—42
—— телемеханическое 4—42
—— электронное в медицине 2—273
Управления автоматического система 4—166, 187
—— —— —— экстремальная 4—357
—— —— —— —— непрерывного действия 4—358
—— —— —— —— с запоминанием экстремума 4—359
—— —— —— —— с изменением производной 4—360
—— —— —— —— шагового типа 4—361
—— автоматического теория 4—166; 1—34
—— иерархический принцип 1—436
—— системы, теория 2—35
—— —— — континуальные модели 2—94
—— —— — надежность структурная 2—356
—— уровни 4—170
Управления устройство, контроль 1—517
— операции дешифратор 2—416
— регистр команд 3—190
— —— приращения адреса 3—190
— счетчик команд 3—458
— формирователь такта 4—271
—— —— высшего уровня 2—204 — см. также Диспетчер
—— —— местное ЦВМ 4—171
—— —— на базе микроопераций 4—176
—— —— центральное ЦВМ 4—171; 2—203
—— —— —— матричное с постоянной программой 4—172
—— —— —— микропрограммное 4—175
Управленческие работы, автоматизация 1—26
Управляемая модель — см. Самонастраивающаяся модель
Управляемая свертка 3—288, 289
Управляемость 4—176
Управляемый выпрямитель 4—177
— реактивная мощность 3—186
— фазосдвигающие устройства 4—233
Управляемый нелинейный преобразователь 3—288
Управляемый объект 4—166, 357
Управляемый полупроводниковый вентиль — см. Тиристор
Управляющая машина 4—178, 187; 1—24; 3—474
—— —— для автоматического управления объектами в замкнутой цепи 4—179
—— —— для обработки информации 4—179
—— —— командная 4—179
—— —— компенсирующая 4—179
—— —— широкого назначения 2—407
Управляющая цифровая машина 4—179, 294
— использование 4—179
— структура 4—187
Управляющее воздействие 4—186, 166; 1—99, 146; 3—367
— регулирования диапазон 3—202
Управляющее слово 4—186; 2—62; 3—98, 106
Управляющее устройство 4—186
Управляющие релейные элементы 3—269, 270
Управляющих слов метод — см. Программирование ассоциативное
Упрощенная цифровая машина 2—196
Упругие столкновения 1—497
Упругий элемент — см. Мембрана
Упругодеформируемый переход 4—188
Упругость водяного пара 1—137
Уравнительный реактор 4—92
Уровень Ферми 4—237
—— шумов — см. Шумы
Уровневые шины 2—210
Уровнемер автоматический — см. Автур
—— волновой 4—188
—— —— емкостный 4—189
—— —— индуктивный 4—188
—— —— оптический 4—188
—— —— радиоизотопный 4—188
—— —— радиоинтерференционный 4—188
—— —— резонансный 4—188
—— —— ультразвуковой 4—189
Уровни возбуждения 1—497
—— квантования 2—30
—— кодирования информации 4—169
Уровня контроль позиционный 3—136
—— регулирование 3—211, 225
—— реле 3—252
Усиление тока газовое 1—504
—— ультразвуковых колебаний дрейфом носителей в полупроводниках или полуметаллах 4—116
Усиления автоматическая регулировка 1—40
—— классы 2—43
—— коэффициент 4—190; 3—85
—— —— по звуковому давлению 4—268
—— логарифмические единицы 2—179
—— нелинейного элемента коэффициент эквивалентный комплексный — см. Адмитанц (импеданц) эквивалентный
Усилители света и изображений 4—190
Усилитель апериодический 4—192
—— бегущей волны квантовый 2—240
—— видеоимпульсов 4—192; 3—475
—— высокой частоты 4—192
—— гальванометрический 4—212
—— гидравлический 1—262
—— двухтактный — см. Усилитель мощности
—— дифференциальный 4—193
—— диэлектрический 1—370
—— избирательный — см. Усилитель резонансный
—— импульсов — см. Усилитель широкополосный, Усилитель видеоимпульсов, Усилитель апериодический
—— каскодный 4—193
—— квантовый 2—32, 30, 144, 240; 4—267
—— клистронный — см. Усилитель сверхвысокой частоты
—— лазерный — см. Лазер
—— ламповый 4—194
—— логарифмический 4—194
—— магнитный 2—220, 225; 4—195
—— —— — управление электроприводом 2—233
—— —— — быстродействующий 2—233
—— мазерный — см. Мазер
—— механический — см. Механический усилитель мощности
—— механотронный 4—212
—— молекулярный — см. Квантовая система, Лазер, Мазер
—— мощности 4—195
—— —— механический 2—279
—— мыслительной способности 2—344
—— на дросселях 4—196
—— на сопротивлениях 4—196
—— на транзисторах 4—197, 24, 210; 2—207
—— на трансформаторах 4—199
—— на туннельном диоде 4—200
—— напряжения магнитный — см. Магнитный модулятор
—— низкой частоты 4—200
—— однотактный — см. Усилитель мощности
—— операционный 2—416
—— —— — входной преобразователь 1—167
—— —— — дрейф нулевого уровня 1—380
—— парамагнитный квантовый 2—469, 31, 240; 4—206, 207
—— параметрический — см. Параметрический усилитель
—— парафазный — см. Инверсный каскад
—— переменного тока 4—201
—— плазменный 1—503

—— полупроводниковый 4—201
—— постоянного тока 4—201
—— —— —— — дрейф нулевого уровня 1—380
—— промежуточной частоты 4—203
—— радиочастотный, паразитная связь 2—467
—— резистивный — см. Усилитель на сопротивлениях
—— резонансный 4—204; 101
—— резонаторный квантовый 2—240
—— реостатный — см. Усилитель на сопротивлениях
— — решающий — см. Усилитель операционный
—— —— пневматический 3—280; 1—190
—— с распределенными параметрами 4—205
—— сверхвысокой частоты 4—206
—— струйный 3—439
—— тока — см. Усилитель постоянного тока
—— фотокомпенсационный 4—208
—— фотоэлектрический 4—207
—— фотоэлектрогазовый 4—208
—— фотоэлектроканальный 4—207, 208
—— фотоэлектролюминесцентный 4—207, 208
—— фотоэлектрооптический 4—208
—— широкополосный 4—208
—— электромашинный 4—211
—— электрометрический 4—211
—— электромеханический 4—211
Усилитель-автодин 4—213, 212
Усилитель-двигатель вентильный 4—213
Усилитель-магникон 4—212
Усилительная лампа 2—155
— классы усиления 2—43
Усилительная ступень — см. Усилительный каскад
Усилительные клистроны 4—206, 207
Усилительный каскад 4—214
Усилительный элемент регулятора 3—206
Усилитель-преобразователь нерегенеративный 2—471
—— регенеративный 2—471
Ускорение операций 4—214
Ускорения постоянная — см. Добротность системы автоматического регулирования
Ускорители заряженных частиц 1—504
Условной вероятности машина 4—215
Условной достоверности машина 4—215
Условные рефлексы 2—36, 39, 273
— моделирование 2—315, 398; 4—149
Условные рефлексы и условной вероятности машина 4—215
Условные состояния релейного устройства 1—102
Условные числа 3—93, 102
Успокоения время 4—215
—— коэффициент 4—215
—— режим — см. Успокоения характер
—— степень 4—215
—— характер 4—216
Успокоитель — см. Демпфер
Успокоительная цепочка 2—488
Установившаяся ошибка 4—216
—— —— —— статическая 3—431
Установившееся движение 4—216
Установившиеся процессы адаптации 3—295
Установившийся процесс 4—216; 2—170, 461; 3—325
Установления время — см. Регулирования время
Устойчивое состояние релейного устройства 2—385; 3—264, 273
Устойчивости бесконечной степени условия 4—216
—— граница 4—216
—— запас 4—216
—— —— —— по амплитуде 4—217
—— —— —— по фазе 4—217
—— критерий 4—217
—— —— —— Гурвица 1—274
—— —— —— Михайлова 2—296
—— —— —— Найквиста 2—359
—— —— —— Рауса 3—184
—— областей выделение 4—217
—— —— —— —— —— Д-разбиение 1—380
—— область 4—218
—— систем анализ 1—65
—— степень 4—218
—— технической теории движения нелинейных САР 4—219
—— условия 4—219; 2—
Устойчивость асимптотическая 4—222
—— возмущенного движения 4—222
—— периодического движения 4—222
—— систем автоматического управления 4—220
—— структурная 4—223
—— энтропийная — см. Энтропийная устойчивость
Устойчивый предельный цикл 4—227
УСЭППА, 4—223
Утечка сетки 4—224
Утомление фотокатода 4—280
Утроитель частоты 3—80
—— —— с искусств. нулевой точкой 3—80
—— —— Спинелли 3—80
—— —— трехфазный 3—80
Ухо человека, динамический диапазон 1—332
— электронная модель 2—304
Учетверитель частоты 3—80
—— —— одноступенчатый 3—80
Учетная контролируемая величина 2—94

Ф

Фабри—Перо эталон 3—311
Фазовая автоматическая подстройка 4—225; 1—317
Фазовая амплитудная характеристика 1—60, 331; 2—359
Фазовая модуляция 2—328
Фазовая плоскость 4—225
— линия переключения 2—178
Фазовая поверхность многолистная 4—225
Фазовая скорость ультразвуковой волны 4—132
Фазовая траектория 1—329; 4—58, 227, 229
Фазовая фокусировка электронных пучков 4—374
Фазовая частотная характеристика 4—226, 319; 1—331; 2—293
— избыток фазы 1—440
—— —— —— —— логарифмическая 4—226
Фазового пространства метод анализа переходных процессов 1—64
—— —— —— —— устойчивости систем 1—65
—— —— —— —— синтеза оптимальных по быстродействию систем 3—328
Фазовое пространство 4—226; 1—329; 2—375; 3—109
— изохрон область 1—447
— разбиение на области 3—141
Фазовое пространство изделия 2—349
Фазовой плоскости метод 4—227
Фазовращатель 4—227, 233; 3—376
—— плазменный 4—228
Фазовые искажения 1—507, 505; 2—173; 3—312
Фазовый детектор 1—316, 177
Фазовый дискриминатор 4—229; 1—177, 316
Фазовый модулятор 2—323
—— —— когерентного света 4—409
Фазовый объем 1—329
Фазовый портрет 4—229, 227
Фазоинвертор 4—229, 232
Фазометр 4—230, 135
—— на триггерах 4—231
—— с генераторами линейно изменяющегося напряжения 4—231
—— с использованием осциллографа 4—230
—— с преобразованием частоты 4—231
—— с устройствами перекрытия 4—230
—— СВЧ с двойными волноводными тройниками 4—231
—— электромеханический 4—230
—— электронный 4—230
Фазорасщепитель 4—232
Фазосдвигающая цепь 4—232
Фазосдвигающее устройство мостовое 4—234, 228
—— —— с импульсным трансформатором 4—235
—— —— с однополупериодным магнитным усилителем 4—235
Фазосдвигающие устройства управляемых выпрямителей, вентильных преобразователей 4—233
Фазоуправляемый генератор 4—247
Фазочувствительный нульиндикатор 4—235
Фазы опережения 2—422
—— отставание 2—465
—— сдвиг 3—312
Фактографический поиск 1—490
Фактор шума — см. Шумфактор
Фактурные машины 1—186
Фантастрон 4—236; 3—300, 400
—— с катодной связью на пентагриде 4—237
—— —— —— —— на пентоде 4—236
—— с экранной связью 4—237
Фарадеево темное пространство тлеющего разряда 4—56
Фарадея эффект 3—311
Фау-код 2—59
Фемитрон 1—45
Ферми квазиуровень 4—237
—— уровень 4—237
—— функция 4—237
Ферритдиодная ячейка 4—238; 1—103
Ферритдиодный элемент — см. Ферритдиодная ячейка
Ферритовая матрица 4—238; 2—140
Ферритовая многоотверстная пластина 4—239
Ферритовая память 4—240
—— —— со считыванием и записью по совпадению токов 4—241
—— —— со считыванием и записью полными токами 4—242
—— —— со считыванием полным током и записью по совпадению токов 4—242
Ферритовая плата 4—247
Ферритовые запоминающие элементы 4—240, 246, 247
Ферритовые магнитострикционные материалы 2—238
Ферритовые физические элементы 4—245
Ферритовый куб 2—140

Ферритовый сердечник 1—414; 4—240, 246
Ферритовый фазовращатель 4—228
Ферриттранзисторная ячейка 4—243
Ферриттранзисторный логический элемент 1—103; 2—206
Ферриттранзисторный телемеханический бесконтактный распределитель 3—166
Ферриттриодная ячейка — см. Ферриттранзисторная ячейка
Ферриты 3—23
Феррогранаты 3—23
Феррография 2—222
Ферродинамическая система дистанционной передачи 1—353
—— —— синхронной связи 3—351
Феррозонд 2—236
Феррозондов метод дефектоскопии 1—321, 322
Ферромагнитного резонанса эффект 3—24
Ферромагнитные материалы, моделирование процессов перемагничивания 2—312
Ферромагнитный полупроводник 3—23
Ферропорошки 2—228
Ферроэлектрическая память 4—247
Фибровая оптика — см. Оптика волоконная
Фидер в радиотехнике 4—244, 442
—— в энергетике 4—244
Физиологическая информация 2—261, 269
Физиологические исследования 2—261
Физиологические процессы, переработка и анализ информации 2—269
— сбор информации 2—261
— телерегистрация 2—268
— электронное моделирование 2—271
Физические элементы вычислительной техники 4—244
—— —— —— —— вспомогательные 4—247
—— —— —— —— запоминающие 4—245
—— —— —— —— логические 4—245
Физический метод получения случайных чисел 3—370
Фиксатор уровня — см. Восстановитель постоянной составляющей
Фиксаторы 3—101
Фильмокарты 1—490
Фильтр, граничная частота 1—272
— нарастания время 2—362
Фильтр верхней частоты — см. Фильтр высокой частоты
— — волноводный 1—151
— — высокой частоты 4—247
—— двухконтурный 1—438
—— дискретный 4—262
—— заграждающий 4—248
—— кварцевый 4—249
—— линейный 1—485; 4—252, 263, 356
—— магнитострикционный 4—250
—— многозвенный 4—260
—— нелинейный 4—252, 263
—— нижних частот — см. Фильтр низкой частоты
—— низкой частоты 4—250
—— оптимальный 4—251, 356; 2—129, 428; 3—48, 291
— — полосовой — см. Полосовой фильтр
— — промежуточной частоты 4—253
— — развязывающий 4—253
— — реактивный 4—259
— — резонаторный 4—259
— — RC 4—254
—— с астатизмом n-го порядка 4—263
—— с бесконечной памятью 4—252
—— с конечной памятью 4—252, 262
—— с переменными параметрами 4—263
—— с постоянными параметрами 4—262
—— сверхвысоких частот 4—254
—— СВЧ — см. Фильтр сверхвысоких частот
—— сглаживающий 4—256
—— симметричный 4—259
—— Скотта 4—257
—— согласованный 3—87
— — сосредоточенной селекции 4—253
—— типа K 4—259
—— типа m 4—260
—— типа mm' 4—260
— — типов волн 4—257
—— Т-образный 1—438
—— устойчивый 4—262
—— частотно-амплитудный 3—476
—— электрический 4—258; 1—292; 3—146
—— электромеханический 4—261
Фильтрация в автоматике, радиотехнике 4—262; 2—129, 437; 3—86
—— оптимальная 1—486; 4—252
—— линейная 1—485; 4—262
Фильтр-генератор как избиратель частотный 1—439
Фильтр-прототип 4—251
Фильтры в инфракрасной технике 1—495
Финитные методы 2—186, 188
Флайден 2—464
Флексорайтер 2—498
Фликкер-шум 4—84, 265
Флуктуационные помехи 3—42, 48
Флуктуационные процессы в электронных приборах 4—263
Флуктуация 4—266
Флуороскопический метод рентгенодефектоскопии 3—278
Флюксор 1—414; 4—247
Фокальное пятно 4—268
Фокусирование электронного пучка 4—374
Фокусировка заряженных частиц жесткая 4—379
—— электронных пучков фазовая 4—374
Фокусирующая акустическая система 4—268
Фокусирующая и отклоняющая система 3—475
Фокусирующий ультразвуковой излучатель 4—268; 3—124
Фонетические машинки 3—153
Фонограф для распознавания звуков речи 3—154
Фонокардиография 2—263, 270
Фонокраниография 2—263
Фононная вязкость 4—118
Фононная теплопроводность полупроводника 3—20
Фононы 1—322, 431; 3—244; 4—34, 116
Формализация 2—183
Формализм (в математике и логике) 2—188, 189
Формализованные языки 2—182, 184, 186
—— —— программирования 4—445
Формальная арифметика 2—188
Формальная математика — см. Исчисление
Формальная система — см. Исчисление
Формальные выражения 2—186
Формальные символы 2—186
Формирование импульсов 4—269
—— луча 2—464; 4—282, 391
—— многоразрядных случайных чисел 1—287
—— случайных равновероятных цифр 1—285
—— символа 2—464
—— электронного пучка 4—374
Формирователь такта 4—271, 173
Формирующего фильтра метод 4—60
Формоимпульсная коррекция 4—272
Формуляр объекта 3—100
Фортран 4—272, 446
Фосфиды 3—31
Фотогальваномагнитный эффект 4—276
Фотографический метод регистрации 3—195
—— —— —— рентгенодефектоскопия 3—277
Фотография в ИК лучах 1—495
Фотодетекторы 3—311
Фотодиод 4—272, 273, 277, 345
Фотодиодный режим 4—272
Фотодиффузионный способ визуализации звуковых полей 1—130
Фотодиффузионный эффект 4—276
Фотоионизация в полупроводниках 4—275
—— газа 1—498
Фотокомпенсационный усилитель 4—208
Фотолитография 4—273
Фотолюминесцентные лампы 1—206
Фотомагнитоэлектрический эффект — см. Фотогальваномагнитный эффект
Фотометр 4—24
—— фотоэлектрический 4—278
Фотометрический оптический пирометр 2—501
Фотоны 2—144; 3—244; 4—116
Фотооптическое печатающее устройство 2—498
Фотоответ светочувствительного элемента 4—278
Фотополупроводники 4—429
Фотопроводимость 1—142; 4—276
—— примесная 4—274
—— собственная 4—274
Фоторезист 4—273
Фотореле 3—254; 4—278
Фотосмеситель 4—273
Фотосопротивления 4—274, 345; 1—494; 2—451
Фототранзистор 4—275
Фотоумножитель 4—375
Фотоформер 3—78
—— импульсный 3—79
Фотохромные носители информации 2—388
Фоточувствительность 4—276
Фотоэдс 4—275
—— вентильная 4—277
—— Дембера 4—276
Фотоэлектреты 4—411, 429
Фотоэлектрические свойства полупроводников 4—275
Фотоэлектрические элементы автоматики 4—277
Фотоэлектрический автомат ИК 1—496
Фотоэлектрический датчик перемещений 1—281
Фотоэлектрический интегральный пирометр 2—505
Фотоэлектрический коррелометр 2—125
Фотоэлектрический оптический пирометр 2—502
Фотоэлектрический сепаратор 4—419
Фотоэлектрический усилитель 4—207
Фотоэлектрогазовый усилитель 4—208
Фотоэлектроканальный усилитель 4—207, 208
Фотоэлектролюминесцентный усилитель 4—208
Фотоэлектромагнитный эффект — см. Фотогальваномагнитный эффект
Фотоэлектронная эмиссия 4—278
Фотоэлектронный катод 4—278

Фотоэлектронный умножитель 4—278, 345, 397; 1—249
Фотоэлектрооптический усилитель 4—208
Фотоэлемент газонаполненный — см. Фотоэлемент с внешним фотоэффектом
— для солнечной батареи 1—523; 3—377
— полупроводниковый 4—278; 1—523
— с внешним фотоэффектом 4—279; 1—503
— — — — — — — вольтамперная характеристика 4—279
— — — — — — — интегральная чувствительность 4—279
— — — — — — — световая характеристика 4—280
— — — — — — — спектральная характеристика 4—279
— — — — — — — спектральная чувствительность 4—279
— электровакуумный — см. Фотоэлемент с внешним фотоэффектом
Фотоэмиссия 2—157; 3—128
Фотоэффект 4—280; 3—128
— в p—n-переходах 4—277
— внешний 1—141; 4—379, 380
— внутренний 1—142; 4—275
— примесный 4—276
— собственный 4—275
Фотоэффекта красная граница 1—142
Фотронный репродуктор 4—412
Фрагментов метод — см. Зондов метод для распознавания печатных знаков
Фрезерный автомат 1—12
Фриттинг 2—88
Функциональная схема машины 4—280
Функциональное пространство состояний 3—110
Функционально полные системы логических операций 1—54
Функционально узловой метод конструирования электронной аппаратуры 4—385
Функциональный элемент релейного устройства 3—262, 263
Функция (и) автокорреляционная — см. Функция корреляционная
— адресная 1—50
— алгебры логики — см. Функция логическая
— арифметические 3—246
— булева — см. Функция логическая
— Вебба 2—191
— весовая — см. Функция импульсная переходная
— времени непрерывная 1—123
— — случайная 1—123
— — ступенчатая 1—123
— выборочных значений 3—425
— вычислимая по Тьюрингу 4—110
— вычислимые 3—245
— двоичная 1—293, 52
— действительных переменных 3—246
— дисперсионная 4—331
— диссипативная 1—348
— допустимые 1—379
— дробно-рациональная 1—381
— единичная 1—392
— знакопостоянная 2—209
— импульсная переходная 1—448, 469; 3—338; 4—102
— комплексных переменных 3—246
— корреляционная 2—125, 127; 1—124; 4—331
— — взаимная 2—126
— — нормированная 2—127
— кусочно-непрерывная 2—142
— логическая 1—52, 448; 2—205, 294; 4—340
— — временная 3—335
— — недоопределенная 2—370
— — — — общая минимальная форма 2—409
— — — — частная минимальная форма 4—314
— — симметрическая 3—323
— Ляпунова 2—209; 4—221, 222
— мажоритарная 2—184
— монотонная 2—330
— неопределенности сигнала 4—345
— непрерывная 2—380
— обще-рекурсивная 3—246
— передаточная 2—478; 3—85
— переключательная 4—431
— переходная 2—490; 1—331, 392, 481; 3—189; 4—102
— периодическая 2—61
— платежная 2—438, 509
— пороговая 2—192
— последования 4—58
— потенциальная 4—113
— потерь 1—387; 2—429, 437; 3—48, 426, 429
— почти периодическая 4—322
— правдоподобия 2—428; 3—425
— примитивно-рекурсивная 3—246
— распределения 1—123
— — — анализатор 1—68
— рассеяния — см. Функция диссипативная
— рекурсивные 3—245; 2—189
— риска 2—438
— случайная 1—123
— статистическая решающая 4—63
— Ферми 4—237
— химическая 1—489
— целевая 4—286; 2—255
— цены ошибки — см. Функция потерь
— частично-рекурсивная 3—247
— чувствительности 4—332, 333
— Шеффера 4—340, 431; 1—54
— штрих 1—50
— экономическая — см. Функция целевая
— экстраполирующая 4—356

X

Характеристика входа в таблицу по аргументу x_j 3—464
Характеристика объектов 3—462
Характрон 4—282; 1—170; 2—464
Хартли мера неопределенности ситуации 1—478
Хаффмана метод синтеза релейных устройств 3—335
Химико-термическая обработка при индукционном нагреве 4—283
Химическая информация 1—489
Химическая функция 1—489
Химического равновесия задача 2—377
Химотронный датчик — см. Солион
Хлористое серебро 3—22
Хлористый натрий 3—22
Ход (в теории игр) 1—434
Холла генератор — см. Датчик эдс Холла
— датчик — см. Датчик эдс Холла
— эффект 3—6
Хроматограмма 4—284
Хроматографии автоматическая газовая 4—284
Хроматографы 4—285

Ц

Цвета, различие в зависимости от угла периферичности 1—483
Цветная дефектоскопия 1—320
Цветовой пирометр 2—505
Целевая функция 4—286; 2—255
Целочисленное программирование 4—287; 2—255; 3—145
Целочисленный метод анализа задачи размещения 3—145
Цементация при индукционном нагреве 4—283
Цена деления шкалы — см. Шкалы деление
— игры — см. Игр теорий
— отказа 4—352
— эффективного быстродействия 4—145, 352
Центральное статистическое управление 1—490
Центральное устройство управления ЦВМ 4—171
Центротехника 4—289
F-Центры 3—22
Цепи высокочастотной коррекции 1—61
— низкочастотной коррекции 1—61
Цепная адресация 3—98; 4—444
Цепочечная структура линии связи 4—10
Цех-автомат 1—25, 35
Цикл структурной схемы программы 1—303
— анализа 1—303
— выделение 1—303
Цикла построение (при конструировании алгоритмов) 1—60
Циклирования формула 1—50
Циклическая передача в системах ТУ—ТС 4—13
Циклическая система кодирования 2—40
Циклический процесс, автоматизация 1—22
Циклов счетчики 4—290
Циклодос 2—68
Циклотрон 4—375
Циклофон 2—68
Циклы программы 4—290
— разветвление программы 3—143
Циклотрон 4—207
Циркулярная передача в системах ТУ—ТС 2—65; 4—13
Циркуляция 4—292
Циферблат измерительного прибора 4—340
Цифро-аналоговые преобразователи 3—69
Цифровая вычислительная машина 4—293; 1—187, 188; 2—65
— автоматизация программирования 1—16
— — компиляции метод 2—77
— адресность 1—49; 4—293
— — выбор 4—302
— адресный язык 1—50
— арифметическое устройство — см. Арифметическое устройство
— быстродействие 4—293
— ввод данных 1—117
— диагностическая подпрограмма 1—325

— задание функций в машине 1—397
— запоминающее устройство — см. Запоминающее устройство
— зона памяти 1—430
— интерпретации метод 1—476
— классификация 4—294
— — — по вычислительной мощности 4—295
— — — по назначению 4—294
— — — по организации порядка выполнения команд 4—296
— — — по способу организации вычислит. процесса 4—295
— — — по способу прохождения информации 4—295
— — — по способу реализации команд 4—295
— — — по способу согласования работы отдельных устройств 4—295
— — — по типу команд 4—295
— — — по типу основных схемных элементов 4—294
— — — по типу системы счисления 4—296
— — — по форме представления чисел 4—296
— команд система 2—62
— комплексирование 2—81
— контролирующая подпрограмма 2—95
— контроль 2—103
— — — программный 2—99, 101
— — — профилактический 2—100
— — — схемный 2—103
— логическая схема 2—203
— магистраль адресная 2—210
— — — командная 2—210
— — — числовая 2—210
— магнитной записи способы 2—219
— масштабирование 2—252
— микромодульное построение 2—287
— микропрограммное управление 2—290; 1—436; 4—295
— многоступенчатая система памяти 2—299
— моделирование производственных процессов на ЦВМ 2—308
— мультипрограммирование 2—339
— надежность, оценка 4—304
— накопитель 2—360
— — — односторонний 2—361
— наладка 2—361
— одноступенчатая организация системы ЗУ машины с использованием непрямой адресации 3—107
— операция машинная 2—421
— параметры 4—293
— — выбор и оценка 4—302
— переадресации команд 2—476
— перезаписывающее устройство, применение в комплекте с ЦВМ 2—483
— переход безусловный 2—490
— — — условный 2—490
— перспективы развития 4—305
— перфорационная вычислительная машина 2—496
— подпрограммы стандартные 3—8
— применение 4—310
— — — в автоматизации управленческих работ 1—30
— — — в военном деле 4—312
— — — в медицине 2—270
— — — в области психологии инженерной 4—313
— — — в энергетике 1—15
— — — для информационного поиска 1—491
— — — для накопления обработки и поиска научно-технич. информации 4—312
— — — для научных и инженерных расчетов 4—310
— — — для обработки экономической информации 4—310
— — — для проектирования и технологических расчетов 4—312
— — — для управления научными и инженерными разработками 4—312
— — — для управления реальными объектами и процессами 4—311
— примеры зарубежных ЦВМ 4—297
— принципы построения и работы 4—293
— программа анализа сбоев 3—95
— — — управляющая 3—96
— программирование — см. Программирование
— программное управление с применением управляющих слов 3—106
— проектирование структуры 3—105
— производство 4—296
— псевдослучайных чисел метод 3—112
— пульт управления 3—119
— разрядная сетка 3—147; 4—304
— распределение памяти 3—162
— расчетный стол, совместное применение 3—183
— регенерация информации 3—189
— сбой 3—301
— символы элементов 1—193
— синтез автоматич. на ЦВМ 3—327
— синхронизация работы 3—348
— скорость выполнения операций 3—358
— слоговое управление 3—106
— случайных чисел получение 3—367
— совмещение операций 3—373, 107
— стирание информации 3—436
— структура команд 3—440
— счетчик 4—307
— такт работы машины 3—469
— — формирователь такта 4—271
— точность 4—65
— управление вводом и выводом данных для ЦВМ 4—150
— управления устройство местное 4—171
— — — — центральное 4—171
— ускорение операций 4—214
— формирователь такта 4—271
— цифровой сумматор 4—308
— эксплуатация 4—304
— элемент логический 4—431; 1—193
— элементов система 4—432
— языки программирования 4—445
— ячейки рабочие 4—447
— — — стандартные 4—447
Цифровая вычислительная машина асинхронная 1—98; 4—296
— — — — быстродействующая, применение в энергетике 1—15
— — — двоичная 1—292; 4—296
— — — двоично-кодированная 4—296
— — — зарубежных стран 4—297, 300
— — — и Тьюринга машина 4—110
— — — информационная 1—486; 4—294
— — — как вероятностная машина 1—122
— — — как конечный автомат 2—86
— — — как моделирующее цифровое устройство 2—318
— — — ламповая 4—294, 297
— — — логическая 2—193
— — — микромодульная 2—288
— — — микрооперационная 4—295
— — — микропрограммная 2—290; 4—295
— — — многоадресная 2—298; 4—295
— — — молектронная 4—295
— — — мультипрограммная 2—339; 4—295
— — — на пленочных микросхемах 2—285, 288
— — — на твердых схемах 2—286, 288
— — — недвоичная 4—296
— — — непозиционная 4—296
— — — одноадресная 2—411; 4—295
— — — параллельного действия 2—467; 4—295
— — — параллельно-последовательного действия 2—468; 4—295
— — — позиционная 4—296
— — — полупроводниковая 4—294, 297
— — — последовательного действия 3—56; 4—295
— — — расчетная 4—294
— — — с занятой плавающей 1—415; 4—296
— — — с занятой фиксированной 1—416; 4—296
— — — синхронная 3—349; 4—295
— — — специализированная 3—395; 2—62
— — — трехадресная 4—103
— — — универсальная 4—144, 294
— — — управляющая 4—179, 294
— — — упрощенная 2—196
Цифровая газонаполненная лампа 2—157
Цифровая машина широкого назначения — см. Универсальная цифровая машина
Цифровая регистрация показаний при телеизмерении 3—196
Цифровая система автоматического регулирования 3—222
Цифровая система управления 1—26; 4—168
Цифровая следящая система 2—300
Цифровое вычислительное устройство 1—189
Цифровое интегрирующее устройство 1—473; 4—306
Цифровое масштабирование 2—252
Цифровое моделирующее устройство 2—318
Цифровой аналог 4—306
Цифровой дифференциальный анализатор 4—306
Цифровой интерполятор 1—475
Цифровой линеаризатор 2—169
Цифровой машины счетчик 4—307
Цифровой регулятор 3—222
Цифровой сумматор 4—308
Цифровой частотомер 4—323
Цифровые измерительные приборы автоматические 4—309
Цифровые машины централизованного контроля 2—391
Цифровые модели электрич. систем 1—16
Цоколь лампы 4—313

Ч

Частично-рекурсивная функция 3—247
Частная минимальная форма (дизъюнктивная) недоопределенной логической (булевой) функции 4—314
Частот интервал, декада 1—301
— полоса 3—17

—— спектр электрический 3—388
Частота биений 1—154
—— вырожденная 3—242
—— импульсных процессов периодических 4—314
—— кратная — см. Частота вырожденная
—— круговая 4—314
—— несущая 2—384
—— обращения запоминающих элементов 4—246
—— опроса величин 4—315
—— периодического процесса 4—314
—— поднесущая 3—7
—— порождающая 3—55
—— промежуточная 3—447; 4—203, 253
—— резонансная 3—238, 237, 241, 242, 243, 309
—— события 4—315
—— среза 3—402, 146
—— электромагнитного излучения 4—314
Частотная модуляция 2—328
Частотная телеизмерительная система 3—485; 4—10
Частотная теория импульсных систем 4—321
Частотная характеристика 4—315, 319; 2—409
—— —— амплитудная 1—61, 331; 4—319
—— —— —— логарифмическая 1—61; 4—320
—— —— вещественная 4—316, 319
—— —— магнитной записи 2—215
—— —— минимая 4—316, 319
—— —— обобщенная переходного процесса 4—316, 320
—— —— фазовая 4—226, 319; 1—60, 331
—— —— —— — избыток фазы 1—440
—— —— —— логарифмическая 4—226
—— —— фильтра 4—263
Частотное избирание в телемеханике 1—437; 4—16
Частотное разделение каналов 4—316; 2—326; 3—143, 484
Частотное уплотнение каналов 4—316
Частотное управление двигателями 4—318; 2—289
Частотно-импульсная система телеизмерения 4—10
Частотные искажения 1—505, 506
— амплитудно-частотная коррекция 1—61
—— —— в детекторе 1—312
Частотные коды 2—56
Частотные критерии регулирования 3—402
Частотные свойства транзистора 4—83
Частотные фильтры СВЧ 4—254
Частотный детектор — см. Детектор частотный
Частотный дискриминатор — см. Детектор частотный
Частотный избиратель в телемеханике 1—437; 4—16
Частотный метод (в теории автоматического регулирования) 4—319
— существенные особенности 4—319
Частотный метод анализа автоколебаний релейных систем 4—322
—— —— —— динамической точности при случайных воздействиях 4—320
—— —— —— динамической точности при типовых воздействиях 4—320
—— —— —— качества и переходных процессов 4—320
—— —— —— нелинейных систем 4—322
—— —— —— систем с переменными параметрами 4—321
—— —— —— устойчивости систем 4—319
—— —— построения переходных процессов 4—320
—— —— синтеза оптимальных систем 4—321
Частотный модулятор 2—323
Частотный селектор 3—312
Частотный спектр 4—322
Частотомер 4—323, 135
—— вибрационный 4—323
—— гетеродинный 1—155; 4—323
—— конденсаторный 3—73; 4—323
—— мостовой 4—323
—— осциллографический 4—323
—— резонансный 4—323
—— стрелочный 4—323
—— электронно-счетный 4—323
Частоты автогенераторов стабилизация 3—417
—— автоматическая подстройка 1—39
—— —— —— фазовая 4—225
—— атомные эталоны 1—99
—— выбег 3—418
—— генератор для систем телемеханики 1—247
—— девиация 1—299
—— делитель 1—305; 4—244
—— затягивание 1—418
—— захватывание 1—419
—— измерение волномером 1—154
—— преобразователь 3—80
—— —— вентильный 1—120
—— регулятор 3—230
—— умножитель 4—143
Частоты боковые 2—324
—— связи 3—309
Челночные алгоритмы 4—323
«Человек и автомат» система — см. Система «Человек и автомат»
Черепахи Уолтера 4—148; 2—272
Черепаха Эйхлера 2—272; 4—215
Чересстрочное разложение изображения 3—476
Чернильный метод регистрации 3—193
«Черный ящик» 4—324; 2—87
Чёрча исчисление 4—325
Четвертьволновой трансформатор сверхвысоких частот 3—375, 4—99
Четырехадресная команда 3—440
Четырехадресная машина 1—49
Четырехполюсник 4—325
— шумфактор 4—345
Четырехслойные полупроводниковые приборы 4—326
Четырехслойный диод 4—327
Чисел и команд запись комбинированная 1—403
Числа запись в коде команд 1—403
Численное интегрирование 1—185
—— —— дифференц. ур-ний 1—185
Численное решение дифференциальных уравнений в частных производных 1—185
Число знаковых разрядов 2—49, 51
Числовая магистраль 2—210
Числовое кодирование понятий 4—328, 190
Числовые константы программы 2—88
Числовые массивы 2—79
Числовые характеристики результатов измерения 4—329
Чистая цена игры 1—435
Читающая машина — см. Читающее устройство
Читающее устройство 4—331; 1—487; 2—365; 3—160
Чохральского метод выращивания монокристаллов 1—181
Чтение — см. Считывание
Чувствительности точки 4—332
Чувствительность 4—333
— настройка параметров с помощью функций Ч. 4—335
— синтез малочувствительных систем 4—334
— структурный метод исследования 4—334
— уравнений Ч. метод исследования 4—333
Чувствительность приемного устройства 4—335
—— систем управления 4—169
Чувствительный орган — см. Воспринимающий орган
Чувствительный элемент 4—336
—— —— регулятора 3—206

Ш

Шаблонов метод для распознавания печатных знаков 4—332
Шаг квантования 1—345; 2—30
—— модификации 2—62
—— переадресации 2—476
Шапка объектов 3—461
—— характеристик 3—461
Шембеля схема 1—244
Шеннона и Мура анализатор 2—194
Шеннона лабиринт 4—337; 2—398
Шенноновы теоремы 4—338, 1—484; 2—53, 346
—— —— для дискретного канала с помехами 4—338
—— —— для дискретных источников и канала без помех 4—338
—— —— для произвольных каналов и при наличии критерия верности 4—338
Шеринга мост 1—371
Шестифазная однотактная схема выпрямления с уравнит. реактором 1—177
Шестнадцатиричная система счисления 4—339
Шеффера функция 4—340, 431; 1—54, 293; 2—205
Шеффера штрих — см. Шеффера функция
Шины, защита 1—424
—— команд кодовые 2—210
—— магистрали сигнальной 2—210
—— чисел кодовые 2—210
Ширина полосы пропускания 1—506
—— —— спектра энергетического 3—388
Широкополосный усилитель 4—208
Широтно-импульсный модулятор 2—290
Шифратор 4—340; 2—484
Шкала настройки 4—340
—— прибора измерительного 4—340
Шкалы время прохождения (пробега) 4—341
—— деление 4—341
Шлейф четвертьволновый 2—122
Шлейфовый осциллограф 1—170; 2—457
Шлейфовый трансформатор 3—376
—— —— сверхвысоких частот 4—100
Шлифовальный автомат 1—12
Шоттки температура 4—37
—— эффект 4—38
ШОУ схема 3—50
Шпинели 3—23
Штайнбуха обучающаяся матрица 2—316
Штарка эффект 3—311
Штекер пневматический 2—519
Штрих функция 1—50

Штрих Шеффера — см. Шеффера функция
Шум белый 4—341, 323; 2—9; 3—389
—— вторичной эмиссии 4—264
—— гауссов — см. Шум нормальный
—— генерационно-рекомбинационный 4—265
—— диффузионный 4—265
—— кавитационный 2—7
—— квантования 1—345; 2—9; 30
—— модуляционный 4—265
—— нормальный 4—342
—— тепловой 4—342, 346
Шума генератор 1—248
Шумовая температура 4—343
Шумовое напряжение 4—343
Шумовой диод 1—249; 4—344, 345
—— —— ионный 4—344
Шумовые ионные приборы 1—503
Шумовые приборы 4—343
Шумовые токи 4—263, 264
Шумоизмерительные уровни 3—44
Шумопеленгатор 1—265
Шумоподобный сигнал 4—345
Шумфактор 4—345
—— транзисторов 4—84
Шумы 4—346, 263, 264, 267, 346
—— атмосферные 4—346
—— в электронных приборах 4—346
—— внешние 4—346
—— внутренние 4—346
—— дробовые в полупроводниках и полупроводниковых приборах 1—381; 4—265, 342
—— космические 4—346
—— случайные, вопросы прохождения через радиотехнич. устройства 1—486
—— транзистора — см. Транзистора шумы

Щ

Щелевая антенна 1—92
Щелевая диафрагма, производство 4—391
Щеточный распределитель 3—163
Щит диспетчерский 4—346; 3—116, 117
—— темный для телесигнализации 4—12
Щуп дефектоскопа 3—124

Э

Эвклида алгоритм 1—57
Эволюция релейного устройства 3—264
Эвристики 4—347
Эвристическая вычислительная машина 4—349
Эвристическая программа — см. Эвристическое программирование
Эвристические методы 4—347
Эвристическое программирование 4—347
Эжектор пневматический 4—350
Эйхлера черепаха 2—272; 4—215
Эквивалент однотактный 4—350; 3—264
Эквивалентная нагрузка 4—350
Эквивалентная схема 4—351
Эквивалентное напряжение шума на сетке 4—264
—— —— —— —— —— удельное 4—264
Эквивалентное сопротивление внутриламповых шумов 4—264
Эквивалентность алгоритмов 1—59; 3—130
—— двух высказываний 1—52
—— комплексов 2—80
—— —— пакетов 2—83
—— структурной схемы 3—442
Эквивалентные преобразования комплекса 2—80
Эквивалентные релейные устройства 2—294
Эквивалентный комплексный коэффициент усиления нелинейного элемента — см. Адмитанц (импеданц) эквивалентный
Эквивалентных возмущений метод 4—61
Экзаменационная последовательность 3—156
Экзоэлектронная эмиссия 4—379
Экономика математическая — см. Математическое программирование
Экономическая информация 1—28
—— обработка с применением ЦВМ 4—310
Экономическая кибернетика 1—28
Экономическая модель 1—28
Экономическая функция — см. Целевая функция
Экономическая эффективность автоматизации 1—20, 37
—— —— —— вычислительных работ 4—352
Экономические характеристики надежности 2—350
Экономичность запоминающего устройства 1—408
Экономия рабочих ячеек 4—353, 447
Экранирование элементов пром. установки, генерирующих радиопомехи 3—46
Экранный метод (в дефектоскопии) 1—321
Экситонная теплопроводность полупроводника 3—29
Экситоны 1—322, 431
Экситрон 1—502; 4—233 — см. также Ртутный вентиль
Эксклюзия 4—356
Эксплуатация изделия 2—348
Экспоненциальные схемные элементы 4—355
Экспоненциальный преобразователь 3—482
Экстракция носителей заряда 4—355
Экстраполирование 4—356
Экстраполирующая функция 4—356
Экстраполирующий полином 4—356
Экстраполятор 4—356
— определение параметров 3—291
Экстремальная система 4—357; 167; 1—22; 3—297
— потеря на поиск 3—60
Экстремальная система дискретного действия — см. Экстремальная система шагового действия
—— —— непрерывного действия 4—358
—— —— с запоминанием максимума, минимума: — см. Экстремальная система с запоминанием экстремума
—— —— с запоминанием экстремума 4—359
—— —— с изменением производной 4—360
—— —— с модулирующими колебаниями — см. Экстремальная система непрерывного действия
—— —— с непрерывным поиском — см. Экстремальная система непрерывного действия
—— —— шагового типа 4—361
Экстремальные задачи, современные методы решения 1—519
Экстремальный регулятор 4—357 — см. также Оптимизатор
Эксцесс распределения измеряемой величины 4—330
Электреты 1—523
Электрическая линейная цепь 2—169
Электрические единицы 2—527
Электрические измерения неэлектрических величин 2—263
Электрический аппарат, длительный режим работы 1—374
Электрический ветер 2—118; 4—419
Электроакустический эффект 4—362; 3—20
Электровакуумные приборы, система обозначений 4-399
Электровакуумный фотоэлемент — см. Фотоэлемент с внешним фотоэффектом
Электроворсование 4—362
Электрогемоскоп 2—267
Электрогидравлическая обработка 4—422 — см. также Электрогидравлический эффект
Электрогидравлический привод 1—261
Электрогидравлический удар 3—150
Электрогидравлический эффект 4—364
Электроглазурование 4—364
Электрографическая печать 2—499
Электрография в физиологических исследованиях 2—261
Электродвигатели, механические характеристики 2—278
Электродинамический излучатель 4—366
Электродосветные лампы 1—206
Электроды электрофильтров 4—424
Электрозаписывающая печать 4—412
Электрозерновая машина 4—382
Электроимпульсная обработка 4—366
Электроинтегратор ЭН-12 2—319
Электроискровая обработка 4—366
Электроискровый метод регистрации 3—194
Электрокардиограмма, моделирование 2—271
Электрокардиография 2—261
—— пространственная 2—269
Электроклассификация 4—416
Электроконтактная обработка 4—367
Электрокопчение 4—367
Электролитическая ванна 4—369, 376
Электролюминесцентная панель 4—371
Электролюминесцентное табло 4—369
Электролюминесцентный экран 4—370
Электролюминесцентный элемент 4—370, 190; 2—451
Электромагнитного поля теория, волновое сопротивление 1—154
Электромагнитное реле 3—258
Электромагнитные методы контроля 1—321
Электромагнитный метод регистрации 3—195
Электромагнитный преобразователь электромеханический 3—82
Электромагнитный регулятор напряжения 3—215
Электроманометр 2—245, 264
Электромашинное управление электроприводом 4—371
Электромашинный усилитель 4—211, 213
Электрометрический усилитель 4—211
Электрометрия в физиологических исследованиях 2—261
Электромеханический преобразователь 3—82
Электроника 4—371
—— информационная 4—372
—— молекулярная 2—328
—— промышленная 3—108
—— техническая (прикладная) 4—371
—— технологическая — см. Электронно-ионная технология

—— физическая 4—371
—— энергетическая 4—373
Электронная аппаратура 4—372
— герметизация 1—258
— заливка 1—400, 258
— испытания 1—515
— конструирование функционально-узловым методом 4—385
— микроминиатюризация 2—283
— модуль 2—319
— надежность 2—357, 349
— печатная схема 2—499
— ресурс 3—279
— старение элементов 3—425
— тропикализация 4—106
Электронная вычислительная машина 4—374, 245
— авост (аварийный останов) 1—9
— автоматизация проектирования 1—17
— —— управленческих работ, применение 1—29, 30
— адрес 1—48
— — код 2—49
— арифметич. операция 1—94
— арифметич. устройство — см. Арифметическое устройство
— блок стандартный 1—107
— блок-схема 1—110
— временная диаграмма работы 1—159
— запоминающее устройство — см. Запоминающее устройство
— испытательная программа 1—516
— испытательных программ система 1—518
— код адреса 2—49
— команда 2—63
— логическая операторная схема 2—195
— машинный перевод 2—257
— моделирование логики проектируемой ЭВМ 1—19
— —— систем команд и структуры 1—17
— монтажные схемы, автоматизация расчета 1—19
— останов 2—457
— —— аварийный 1—9
— отображения устройство 2—463
— стоимость млн. полезных операций 4—352
— —— надежности 4—352
— —— решения задачи 4—353
— —— часа работы 4—352
— табличное задание функций 3—464
— такт работы машины 3—469
— ферритовая память 4—241
— функциональная схема 4—280
— цена отказа 4—352
— —— эффективного быстродействия 4—352
— экономическая эффективность автоматизации вычислительных работ 4—352
— эффективное быстродействие 4—353
—— —— —— аналоговая — см. Аналоговая вычислительная машина
—— —— —— с клавишным вводом информации 1—186
—— —— —— цифровая — см. Цифровая вычислительная машина
Электронная лампа, анодная характеристика 3—432
— анодно-сеточная характеристика 3—432
— внутреннее сопротивление 3—434
— динамические характеристики и параметры 1—329
— емкость входная 1—393
— —— выходная 1—393
— —— проходная 1—394
— импульсный режим 1—450
— коэффициент усиления 3—434
— —— широкополосности 3—434
— крутизна характеристики 3—434
— проницаемость 3—434
— сеточная характеристика 3—432
— сеточно-анодная характеристика 3—432
— смещение автоматическое 3—371
— сопротивление внутреннее 3—379
— —— входное 3—379
— статические характеристики и параметры 3—432
— утечка сетки 4—224
— флуктуационные процессы 4—263
— цоколь 4—313
— эквивалентное напряжение шума на сетке 4—264
— —— —— —— —— —— удельное 4—264
— эквивалентное сопротивление внутриламповых шумов 4—264
— эквивалентные схемы 4—351
— эффективное значение шумового тока 4—263
Электронная лампа индикаторная 1—457
—— —— комбинированная 2—158
—— —— разборная 2—152
Электронная оптика 4—374
Электронная пушка для сварки 3—306
—— —— лампы бегущей волны 2—146
—— —— —— обратной волны 2—150
—— —— электронного микроскопа 4—396
Электронная рентгеновская трубка 3—274
Электронная теплопроводность полупроводника 3—28
Электронная управляющая машина — см. Управляющая цифровая машина
Электронная цифровая машина — см. Цифровая вычислительная машина
—— —— —— информационная 1—486
—— —— —— упрощенная 2—196
Электронная эмиссия 4—379
Электроноакустический преобразователь 1—130
Электроноволновая лампа 2—159; 4—393
Электронно-дырочный переход 4—380; 1—469; 2—93
Электронное изображение 4—377
Электронное реле 3—398; 4—103
Электронно-ионная технология 4—380
—— —— —— в сельском хозяйстве 4—382
Электронно-ионный генератор импульсов 1—223
Электроннолучевая лампа с управлением поперечным полем 4—393
Электроннолучевая обработка 4—388
Электроннолучевая сварка 3—305
Электроннолучевая трубка 4—391, 374
— модуляция 2—325, 328
— применение оптики волоконной 2—425
— цоколь 4—313
Электроннолучевая трубка запоминающая 1—404; 3—58
—— —— знакопечатная — см. Характрон
—— —— квантующая 2—68
—— —— кодирующая 2—57, 68
Электроннолучевое регистрирующее устройство 1—170
Электроннолучевой индикатор — см. Индикаторная лампа
Электроннолучевой коммутатор 2—67; 4—392
Электроннолучевой метод записи информации на термопластике 4—391
Электроннолучевой осциллограф — см. Осциллограф
Электроннолучевой прибор — см. Электроннолучевая трубка
Электроннолучевой распределитель 3—170, 164
Электроннолучевой функциональный преобразователь 3—78
Электронно-микроскопическое формирование твердых схем 2—329; 3—471; 4—306
Электроннооптическая система 4—375, 391
—— —— —— для электроннолучевой обработки 4—390
Электроннооптический показатель преломления 4—376
Электроннооптический преобразователь 4—393, 375; 3—278
Электронно-световой индикатор — см. Индикаторная лампа
Электронные датчики 4—372
Электронные линзы 4—396
Электронные методы воздействия на организм 2—270
Электронные моделирующие установки 3—326
Электронные проекторы 1—45
Электронные пучки 4—374
Электронные СВЧ приборы — см. Лампа бегущей волны, Лампа обратной волны, Лампа электронно-волновая, Лампа маячковая, Лампа разборная электронная, Магнетрон, Магнетронного типа приборы, Резнатрон
Электронные траектории 4—376
Электронные управляемые модели 3—288
Электронные черепахи 2—272; 4—148, 215
Электронный вентильный преобразователь 1—119
Электронный коммутатор 2—68
Электронный компенсатор 2—73
Электронный коррелометр 2—125
Электронный метод регистрации 3—195
Электронный механотрон 2—280
Электронный микроскоп 4—394, 375
—— —— для прямого исследования массивных объектов 4—396
—— —— зеркальный 4—396
—— —— магнитный 4—395
—— —— отражательный 4—396
—— —— просвечивающий 4—395
—— —— растровый 4—396
—— —— теневой рентгеновский 4—396
—— —— эмиссионный 4—396
Электронный осциллограф 2—458
Электронный парамагнитный резонанс 3—137
Электронный переключатель — см. Коммутатор электронный
Электронный преобразователь 3—67
Электронный прибор 4—397
Электронный прожектор фиксирующий 1—407
Электронный регулятор напряжения 3—219
—— —— частоты 3—231
Электронный сглаживающий фильтр 4—257
Электронный стабилизатор напряжения 3—409
Электронный счетчик импульсов 3—457
Электронный табулятор 3—468
Электронный телескоп 4—393
Электронный ток 2—157
Электронный умножитель 4—397

Электронный фазометр 4—230
Электронных приборов система обозначений 4—399
Электронов подвижность 3—148
—— рекомбинация при разряде в газах 3—149
Электронограф 4—396
Электрообеспыливание 4—416
Электрообогащение полезных ископаемых 4—401, 416
Электрообработка шерсти 4—404
Электрокрасочные установки 4—406
Электроокрашивание 4—405
Электрооптический модулятор света 4—408; 3—311
Электрооптический эффект 4—408
Электропечать 4—409
—— бесконтактная 4—411
—— контактная 4—410
Электропневматический преобразователь 3—83
Электропривод, бесконтактные схемы управления на логических элементах 1—102
— блокировка 1—108
— динамическое торможение 1—334
— защита 1—427
— импульсное управление 1—449
— каскадное соединение асинхронных машин 2—21
— коэффициент мощности 2—132
— магнитными усилителями управления 2—233
— микропривод переменного тока с двухфазным двигателем 2—288
— —— постоянного тока 2—289
— оптимальное управление 2—434
— частотное управление двигателями 4—318
— электромашинное управление 4—371
Электропривод автоматизированный 4—413
Электропроводность полупроводников 4—413
— проводимости тип, определение 3—25
Электропроводность полупроводников органических 3—30
— — — примесная 4—414
—— собственная 3—23; 4—413
—— n-типа 4—414
—— p-типа 4—414
Электропрядение 4—415
Электросепараторы 1—292
Электросепарация 4—416, 401
Электростатическая линза 4—375, 391
Электростатическая прядильная машина 4—415, 416
Электростатическая трубка 4—246
Электростатические сепараторы 4—418
Электрострикция 3—126
Электросфигмограф 2—265
Электротермический метод регистрации 3—194
Электротопоскоп 2—262
Электроулавливание 4—421
Электроулавливающие установки 4—421
Электрофизиологические исследования 2—261
Электрофизическая и электрохимическая размерная обработка материалов 4—422
Электрофильтр 4—422; 1—205, 292
— корона обратная 2—117
— электроагрегат для питания Э. 4—426
— электроды 4—424
Электрофильтр однозонный 4—423
—— пластинчатый 4—423
—— трубчатый 4—423
Электрофотографическая бумага 4—412
Электрофотографический осциллограф 4—430
Электрофотография 4—429
Электрофотоустановки 4—429
Электрохимическая обработка 1—88
Электрохимические элементы 1—522
Электрохимический выпрямитель тока 3—85
Электрохимический метод регистрации 3—195
Электрохимический преобразователь 3—84
Электрохимическое реле 3—85
Электроэнергетические системы, кибернетика 2—37
Электроэнцефалография 2—261, 262
Электроэнцефалоскоп 2—262
Электроэрозионная обработка металлов 4—430, 422; 1—88
Электроэрозионная печать 4—412
Электроэрозионное упрочнение 4—431
Элемент логический 2—205
—— —— ЦВМ 4—431; 1—193
Элементарная перекодировка 1—60; 3—62
Элементарная ячейка 2—195
Элементарные выражения 3—131
Элементарные операции 2—63
Элементов система ЦВМ 4—432
—— обозначения 1—193
—— собирательная схема 3—371
—— совпадений схема 3—374
«Эльзи» (электронная «черепаха») 2—272; 4—148
«Эльмер» (электронная «черепаха») 2—272; 4—148
Эмиссионная оптическая спектроскопия 3—394
Эмиссионный спектральный анализ 3—394
Эмиттер 1—45
—— сложный 1—165
—— сурьмяно-цезиевый 1—166
Эмиттерный повторитель 4—433; 3—379
Эмпирическое распределение 3—427
Эндовибратор — см. Резонатор объемный
Эндорадиозонд 2—268
Эндоскопия, применение телевизионной техники 2—267
Энергетического баланса метод 4—434
Энергосистемы, автоматизация исследований режимов 1—13
— автоматич. включение резерва 1—41
— диспетчерская автоматизация 1—347
— применение устройств телемеханики 4—6
— управление режимами автоматическое 4—163
Энтропийная устойчивость 4—435
Энтропия в теории информации 4—435; 1—440, 478
—— дифференциальная 4—436
—— поэтического языка 2—162
—— физическая 4—437
Эпитаксиальное выращивание кристаллов 2—329, 510
Эпитаксиальные полупроводниковые пленки 2-510; 4—71
Эпсилон-энтропия 4—437; 1—521
Эргодическая динамическая система 1—329
Эргодический вероятностный процесс 1—124; 2—128
Эргодический источник сообщений 1—521
Эргономика 4—438
Эрли эффект 1—394
Эстиатрон 4—207
Эталон 4—438
—— вторичный 4—438
—— государственный 4—438
—— групповой 4—438
—— первичный 4—438
—— рабочий 4—438
—— Фабри—Перо 2—31; 3—311
Эталон-копия 4—438
Эталонная мера 4—438
Эталонная установка 4—438
Эталонный метод 4—438
Эталонный язык 1—56
Эталон-свидетель 4—438
Этилен-диамин тартрат 3—122
Эттингера программа 1—106; 2—316
Эффективная амплитуда шума квантования 2—30
Эффективная диффузионная длина 1—364
Эффективная скорость выполнения операций 3—358
Эффективная ширина области пространственного заряда 1—298
Эффективное быстродействие универсальной цифровой машины 4—145
—— —— ЭВМ 4—353
Эффективное время жизни инжектированных неосновных носителей заряда 3—26
Эффективное значение шумового тока 4—263
Эффективность оценки 3—425
—— передачи информации в телемеханике 4—440; 2—55; 3—55
Эффективные алгоритмы 2—37
Эффузиометр 2—514
Эхо-бокс — см. Эхо-резонатор
Эхограмма 4—441
Эходефектоскоп 4—120, 127
Эхолокатор 1—265
Эхолот 4—441
Эхометод ультразвуковой дефектоскопии 4—120
Эхо-резонатор 3—243
Эхо-сигнал 4—441, 125
Эшби гомеостат 1—106, 270

Я

Ядерного квадрупольного резонанса метод 3—139
Ядерный магнитный резонанс 3—138
Ядерный γ-резонанс — см. Мёссбауэра эффект
Язык (и), количественное описание 2—162
— математич. методы исследования 2—160
— моделирование 2—160
Язык адресный 1—49
—— алгоритмический 4—443
—— естественный, сравнение с логическим 2—162
—— —— —— определение минимального времени разделения родственных языков 2—162
—— информационно-логический 1—491
—— информационно-поисковый 1—490; 2—366
—— информационный 1—491; 4—190
—— ИПЛ 4—444
—— логический, сравнение с естественным 2—162
—— логических схем — см. Логическая схема, Логическая схема программы
—— машинный 4—443
—— —— универсальный 2—260
—— неалгоритмический 4—446
—— операторный 4—446
—— поэтический, вычисление энтропии 2—162
—— программирования 4—445; 2—40
—— —— неполностью формализованные 4—445

—— —— обобщенные 4—445
—— —— формализованные 4—445
—— простых правил 4—446
—— публикаций 1—56
—— различного уровня 4—170
—— состояний 4—348
—— формализованные 2—182, 184, 186
—— человеко-машинный 1—30
—— эталонный 1—56
Языковые константы 2—162
Язык-посредник (в машинном переводе) 2—250
Ячейка вычислительной машины — см. Блок стандартный
—— Керра 4—408
—— памяти 4—446; 1—408; 2—195, 203, 413
—— релейного устройства вырожденная 1—523
—— —— —— типовая 1—523
—— сигнальная 4—444
—— ферритдиодная 4—238
—— ферриттранзисторная 4—243
—— ферриттриодная — см. Ячейка ферриттранзисторная
—— элементарная 2—195
Ячейки признак длины 3—92
Ячейки Кроу 2—135, 136
—— рабочие 4—447
—— —— — экономия 4—353
—— стандартные 4—447, 292; 1—171; 3—102

Научный Совет „Советской Энциклопедии" благодарит авторов, редакторов и рецензентов, перечисленных ниже, за участие в подготовке энциклопедии „Автоматизация производства и промышленная электроника".

Абрамов С. А.
Авен О. И.
Аврух М. Л.
Агамалов Ю. Р.
Агейкин Д. И.
Агранат Б. А.
Адамович С. П.
Адоян А. Г.
Айзерман М. А.
Александров А. Г.
Альбац М. Е.
Аляпчикова Г. Н.
Ананьева А. А.
Андреев П. Н.
Андрейчиков Б. И.
Андрианов Д. Н.
Анохин Б. Г.
Антик И. В.
Антипов А. П.
Анфилов И. В.
Аронов В. Л.
Арсеньев Н. И.
Арутюнов О. С.

Бабский Е. Б.
Баженов Д. В.
Байковский В. М.
Балабанов Е. М.
Балакшин О. Б.
Балог И. И.
Бамдас А. М.
Бамунэр А. В.
Баранов В. И.
Басалаева Н. Я.
Басов А. М.
Белик Н. И.
Белоногов Г. Г.
Белопольский И. И.
Беляев С. А.
Бенедикт О. (Benedikt O.)
Берг А. И.
Бергельсон И. Г.
Березовец Г. Т.
Берендс Т. К.
Беркович Д. М.
Беркович М. А.
Берлинер М. А.
Берман Л. С.
Бернашевский Г. А.
Бернштейн С. И.
Билик Р. В.
Бирюков А. Я.
Бирюков Б. В.
Битюцков В. И.
Блани О. (Blunn O.)
Блох Э. Л.
Богатырев Ю. М.
Богданов В. Н.
Богомолов В. Н.
Богуславский Л. И.
Бокшицкий Л. В.
Болтянский В. Г.
Бондаренко Б. В.
Борисов Ю. Я.
Бочаров И. Н.
Бочарова М. Д.
Боярченков М. А.
Браверман Э. М.
Брагинский В. Б.
Брёккль Л. (Bröckl L.)
Брик В. А.
Брицын Н. Л.
Бройда В. (Broïda V.)
Бронштейн О. И.
Брук Б. А.
Булгаков А. А.
Бураков Б. А.
Бурдун Г. Д.
Бурков В. Н.
Бусленко Н. П.
Бут А. И.
Бутковский А. Г.
Бутрим С. И.
Бухтияров А. М.
Буяновский Л. А.
Быховский Я. Л.

Вайхардт Х. (Weichardt H.)
Ваксенбург В. Я.
Вальденберг Ю. С.
Вальд-Перлов В. Е.
Варшавский В. И.
Васильев Р. Р.
Васильева Н. П.
Васманов В. В.
Васьков С. Т.
Великанов А. С.
Веников В. А.
Вентцель Е. С.
Венчковский Л. Б.
Вербицкая Т. Н.
Визель А. А.
Виленский П. Л.
Витенберг И. М.
Власов П. В.
Власюк Б. А.
Влодуц Г. Э.
Волков В. В.
Вологдин В. В.
Вологдин Э. Н.
Волцит В. В.
Воржева В. В.
Воробьева Т. М.
Воронов А. А.
Ворончев Т. А.
Воскресенский Н. А.

Гаазе-Рапопорт М. Г.
Гаврилов М. А.
Гаджиев М. Ю.
Гайдук В. И.
Галактионов А. И.
Гальперин Е. И.
Гамкрелидзе Р. В.
Ганрио В. В.
Гарбузов А. Р.
Гастев Ю. А.
Гафанович Д. С.
Гачинский Э. Е.
Гейровский Я. (Heyrovský J.)
Гельфанд Я. Е.
Герасимов В. Г.
Глинтерник С. Р.
Глуберг Э. А.
Глуханов Н. П.
Глушков В. М.
Гнеденко Б. В.
Голованов В. А.
Гольдберг Г. И.
Гольштейн Е. Г.
Голямина И. П.
Гонек Н. Ф.
Гончарский Л. А.
Горелик А. Л.
Горохов В. А.
Горохов В. М.
Горская Н. С.
Горьков В. А.
Горшков М. М.
Горюнов Ю. Д.
Грабовецкий В. И.
Графенбергер А. С.
Григорьев В. С.
Григорьев О. П.
Гриня Я. И.
Гришин В. П.
Гуков В. И.
Гулько Ф. Б.
Гуревич К. М.
Гусев А. В.
Гусев Л. А.
Гутенмахер Л. И.
Гуткин Б. Г.

Дадерко И. К.
Дайчик М. Л.
Данильченко И. А.
Дацкевич А. А.
Декабруп И. Е.
Декабруп Л. Л.
Делоне Н. Н.
Делягин Н. Н.
Демичев А. Д.
Десова А. А.
Дилигенский С. Н.
Дмитриев В. Н.
Добкин А. С.
Доброхотова К. Б.
Добрушин Р. Л.
Догановский С. А.
Додик С. Д.
Доманицкий С. М.
Дорогунцев В. Г.
Дорофеев А. Л.
Дорофеева Н. И.
Доступов Б. Г.
Дробиз А. М.
Дронфорт Л. М.
Дудников Е. Е.
Духин А. А.

Евдокимов П. И.
Египко В. М.
Егоров А. М.
Емельянов С. В.
Емельянов-Ярославский Л. Б.
Ершов А. П.
Ефимов И. Е.
Ефремова Е. Ф.

Жебровский С. П.
Железнов Н. А.
Жигарев А. А.
Жижин Г. Н.
Жоголев Е. А.
Жожикашвили В. А.
Журавлев А. Н.
Жуховицкий Б. Я.

Забелина Е. П.
Зайцев А. А.
Залманзон Л. А.
Замятнин М. М.
Заремба Л. К.
Захаров А. Л.
Захваткин Г. В.
Зеленков С. В.
Земельман М. А.
Земляков С. Д.
Зернов Д. В.
Зусман В. Г.
Зусман И. Х.

Иванов А. Н.
Иванов В. В.
Иванов В. И.
Иванов Г. М.
Иванов Ю. В.
Игнатьев Н. К.
Израилев Р. А.
Илисавский Ю. В.
Ильин В. А.
Иордан Е. Г.
Иорданишвили Е. К.
Иорданский Д. И.
Иориш Ю. И.
Иржавский А. Л.
Исаев В. П.
Ицкович Э. Л.

Кавалеров Г. И.
Каганов И. Л.
Казакевич В. В.

Казаков В. Д.
Казанцев В. Ф.
Каленчук В. С.
Каменецкий Ю. А.
Кампе-Немм А. А.
Камынин С. С.
Каневский И. Н.
Канторович Л. В.
Капустин А. П.
Капустина О. А.
Кащов Л. Н.
Карандеев К. Б.
Карпин Е. Б.
Карпинская Н. Н.
Карчик В. Г.
Катыс Г. П.
Каширин В. А.
Кашлинский А. И.
Каштелян В. Е.
Кербников Ф. И.
Китайгородский Ю. И.
Китлер Ю. В.
Китов А. И.
Китович В. В.
Кичатов Ю. Ф.
Клусов И. А.
Кнеллер В. Ю.
Кобринский А. Е.
Коваленко З. Д.
Коваленко И. Н.
Коган Б. Я.
Коган И. Н.
Коган П.—И. М.
Козис В. Л.
Козлов В. А.
Козлов Г. Д.
Козлов Н. П.
Козмидиади В. А.
Козырев В. П.
Колесник Л. И.
Коломоец Н. В.
Колосов С. П.
Комиссаров В. К.
Кондратенков В. М.
Кондюков И. А.
Кощевой Ю. А.
Кордюков И. А.
Корендясев А. И.
Корицкий В. Г.
Корнев М. А.
Косиков В. С.
Коссов О. А.
Костенко М. А.
Костоусов А. И.
Котов Р. Г.
Коченов М. И.
Кочетков Е. С.
Кошкин Л. Н.
Крайзмер Л. П.
Крайник Н. Н.
Крапивин В. К.
Красивский С. П.
Красовский А. А.
Крассов И. М.
Кремлевский П. П.
Криницкий Н. А.
Крохин О. Н.
Крутова И. Н.
Кувшинский О. Н.
Кудин В. Н.
Кудрявцев И. В.
Кузин А. М.
Кузнецов О. А.
Кузнецов О. П.
Кузьменко М. И.

Кузьмин В. А.
Кузьмин В. Л.
Куницкий Н. П.
Купершмидт Я. А.
Куренков Г. И.

Лабунцов В. А.
Лазарев В. Г.
Лакунина Л. В.
Ланин Н. Д.
Лапицкий Ю. Р.
Ларичев О. И.
Лебедев Д. С.
Лёвин А. А.
Левин Б. Е.
Левин Б. Р.
Левин Г. А.
Левин М. И.
Левинсон Б. А.
Левитин Л. Б.
Левитов В. И.
Левковский Е. И.
Леонов Ю. П.
Лернер А. Я.
Летов А. М.
Либерман Л. С.
Лившиц А. Л.
Линский В. С.
Липшиц А. М.
Лисовский Л. П.
Литкенс И. В.
Лифшиц Т. М.
Лозинский М. Г.
Лосиевский В. Л.
Лошаков Л. Н.
Луковцев П. Д.
Луцук Ю. В.
Лымарь Г. Ф.
Львов Е. Л.
Любарская А. М.
Любимский Э. З.
Любченко Ю. Б.

Мадоян С. Г.
Маевский О. А.
Мазель Е. З.
Мазель К. Б.
Мазырин А. И.
Майзель М. М.
Майоров Ф. В.
Макаров И. М.
Макаров Л. О.
Максарев Ю. Е.
Малин Б. В.
Малиновский Б. Н.
Малкович Р. Ш.
Малов В. С.
Малышев В. И.
Мамиконов А. Г.
Манько В. М.
Маранц В. Г.
Маранчак В. М.
Маргулис В. Б.
Маркович И. М.
Маркович М. И.
Мартинсон М. Л.
Маслов Алекс. Алекс.
Маслов Алекс. Андр.
Матвеев А. С.
Матросова Н. С.
Машницкий А. С.
Мед Г. Д.
Медведев Ю. Т.
Медина А. Г.
Мелик-Шахназаров А. М.

Мельничук А. Я.
Мельтцер Л. В.
Меньшиков Г. Г.
Микуцкий Г. В.
Мильвидский М. Г.
Минасян И. А.
Минина О. М.
Миронов Г. А.
Митин В. С.
Митюшкин К. Г.
Михайлов Н. Н.
Мокряков В. В.
Мондрус Д. Б.
Мордкович В. Н.
Москвитин Л. Л.
Мостовой Б. Ф.
Мошкунов И. М.
Мухарев Л. А.
Мушкин А. М.

Наджип А. Э.
Намиот Е. Ю.
Нашпельбаум Э. Л.
Наугольных К. А.
Науменко Е. Д.
Наумов Б. Н.
Наумченко В. В.
Недужий С. А.
Нейдхардт П. (Neidhardt P.)
Немец Л. (Němec L.)
Нерсесян В. С.
Нетушил А. В.
Низэ В. Э.
Никитин А. И.
Никитин Б. И.
Николаев Г. В.
Нилендер Р. А.
Новицкий Б. Г.
Новосельцев В. Н.
Новосельцева Ж. А.
Ногин В. М.
Норкин К. Б.

Овчаренко Е. Я.
Овчаров Е. В.
Огиевич В. А.
Олофинский Н. Ф.
Оносовский К. К.
Ораевский А. Н.
Оржеховский М. М.
Орлов С. В.
Оршанский Д. Л.
Осовский Л. М.
Останин Ю. Я.
Остиану В. М.
Островерхов Н. Т.
Ошанин Д. А.

Павленко В. А.
Павленко П. И.
Паишев И. И.
Палевич Л. Г.
Паперный Г. И.
Парин В. В.
Парини Е. П.
Пароль Н. В.
Пархоменко П. П.
Паск Г. (Pask G.)
Пастернак Е. Б.
Паулаускас Ц. Ц.
Пенькова Л. Ф.
Петелин Д. П.
Петренко А. Д.

Петренко А. И.
Петров Б. Н.
Петров Г. М.
Петрухин Б. П.
Петухов В. М.
Пинскер М. Ш.
Плаксин И. Н.
Полехов В. В.
Полоник В. С.
Полонников Д. Е.
Полянов А. Б.
Попилов Л. Я.
Попков В. И.
Попков Ю. С.
Попов В. И.
Попов В. К.
Поспелов Г. С.
Посысаев И. Н.
Прейс В. Ф.
Пресс Ф. П.
Прокопович А. Е.
Прокофьев В. Н.
Пугачев В. С.
Пустильников В. М.
Пшеничников А. М.

Радовицкий В. П.
Раевский Н. П.
Размадзе Ш. М.
Райбман Н. С.
Райзман М. И.
Райнес Р. Л.
Раковский М. Е.
Раскина А. А.
Ревнивцев В. И.
Репин В. Г.
Ржевкин К. С.
Ривкин Г. А.
Рикко Н. Н.
Рогачев И. С.
Рогачев Э. Б.
Рогинская Л. Э.
Рогинский В. Н.
Розенберг Л. Д.
Розенман Е. А.
Розинкин А. Е.
Ройзин Н. М.
Романенко Е. В.
Романовский И. В.
Ростунов Т. И.
Рохлин Г. Н.
Рудашевский Г. Е.
Русаков В. В.
Рутковский В. Ю.
Рутман Р. С.
Рухадзе В. А.
Рыбашев М. В.
Рязанкин В. Н.
Рязапов Г. А.

Савина А. С.
Сагалович Ю. Л.
Салихов З. М.
Самбурова Е. Ф.
Самохвалов М. М.
Сафонов В. И.
Сахаров М. П.
Свечарник Д. В.
Седунов В. У.
Семенов В. В.
Семенова Е. Т.
Семикова А. И.
Сенаторов К. Я.
Сенькин В. И.
Сиваков А. Р.

Силин Л. Л.
Симкин М. М.
Сиротин А. А.
Сиротинский Е. Л.
Скорик К. И.
Скугоров В. Н.
Слухоцкий А. Е.
Смирнов Г. Б.
Смирнов Н. А.
Смирнов Ю. Н.
Смульский А. С.
Соболь И. М.
Соколинский А. Г.
Соколов В. Б.
Соколов В. С.
Солнечный Э. М.
Соловьев Е. Г.
Соловьева С. Ф.
Солодовников В. В.
Сопов О. В.
Сотсков Б. С.
Старобинец С. С.
Стаховский Р. И.
Сташевский В. М.
Степаненко И. П.
Стиоп Я. И.
Стоцкий Л. Р.
Страшак А. (Straszak A.)
Стрельцов И. А.
Стукачев А. В.
Субботин М. И.
Судаков П. М.
Сурис Р. А.
Суходрева И. М.
Сущик А. С.
Сысоев Л. П.

Тайц Б. А.
Таль А. А.
Таран В. А.
Тафт В. А.
Тейман А. И.
Темников Ф. Е.
Темный В. П.

Тененбаум Л. А.
Терехов Ф. Н.
Тетельбаум И. М.
Тимофеев П. В.
Тир Л. Л.
Тиходеев Г. С.
Тищенко Н. А.
Товстуха Т. И.
Томович Р. (Tomović R.)
Томфельд Ю. Л.
Трапин Ф. Е.
Трапезников В. А.
Трахтенброт Б. А.
Трифонов А. Н.
Трутко А. Ф.
Тюрин В. П.
Тюрин Н. И.

Ужов В. Н.
Уманский И. М.
Уткин В. Т.
Ушаков В. Б.

Файнштейн С. М.
Фаминский Г. В.
Фатеев А. В.
Федоров А. Н.
Фейгин В. И.
Фельдбаум А. А.
Фельдман Р. В.
Филипович Б. И.
Финкельштейн С. М.
Фицнер Л. Н.
Фокина В. Ф.
Фомина Е. Н.
Фортушенко А. Д.
Фролов В. С.
Фролов Г. Д.
Фрумкин А. А.
Фурман К. С.

Хаенко И. С.
Хайкин С. Э.
Хализев Г. П.

Харкевич А. А.
Харламова Л. Н.
Харченко А. М.
Хасаев О. И.
Хатунцев Л. А.
Хвилевицкий Л. О.
Хетагуров Я. А.
Хомич Ю. В.
Хохлов В. А.
Храмой А. В.
Хромой Ю. Д.
Хрулёв А. К.
Худяков В. В.

Цапенко М. П.
Царев Б. М.
Цатурова И. А.
Цетлин М. Л.
Цовьянов А. Н.
Цукерник Л. В.
Цыбаков Б. С.
Цыпкин Я. З.

Чадеев В. М.
Чаман В. С.
Челюсткин А. Б.
Ченцов Р. А.
Червоненкис А. Я.
Черепанов В. П.
Черкас К. В.
Черненов Н. Я.
Чернобровов С. В.
Чернов З. С.
Чернышев В. И.
Чернышев М. А.
Черняк Ю. И.
Четыркин И. В.
Чиликин М. Г.
Чистяков П. Н.
Чугин Ю. И.
Чураева Л. С.

Шадрин В. Н.
Шапиро С. В.
Шапиро Э. Т.
Шастова Г. А.

Шафрановская З. М.
Шахбудагян-Шоу С. Э.
Швырев С. С.
Шебанов В. И.
Шенброт И. М.
Шергов И. В.
Шестаков В. И.
Шилейко А. В.
Шипилло В. П.
Шифрин-Крыжаловский Ю. А.
Шишкин О. П.
Шишкова Е. В.
Шкрабов Б. С.
Шлейер Г. Э.
Шломович М. Х.
Шолохов В. Г.
Шор Я. Б.
Шорыгин А. П.
Шпаков А. П.
Шрайбер Д. С.
Шрейдер Ю. А.
Штаркман В. С.
Шубин А. Б.
Шумская Л. С.
Шура-Бура М. Р.
Шутилов В. А.
Шутов А. М.
Щедровицкий С. С.

Экнадиосянц О. К.
Эрглис К. Э.
Эшби У. Росс (Ashby W. Ross)

Юдин Д. Б.
Юрасова В. Е.
Юргенсон Р. И.
Юровский А. Я.

Яблонский С. В.
Явлинский Ю. Н.
Яглом А. М.
Ярина В. З.
Ярмак М. К.
Яроцкий А. В.
Яхимович Д. Ф.

Автоматизация производства и промышленная электроника.
В 4 тт. Гл. ред. А. И. Берг и В. А. Трапезников, т. 4.
М., «Советская энциклопедия», 1965.
(Энциклопедия современной техники. Энциклопедии. Словари. Справочники).
т. 4. Телекомандование — Ячейки стандартные. 1965.
544 с. с илл., 6 л. илл.

Сдано в набор 30/XII 1964 г. Том подписан к печати 8/IV 1965 г.

Издательство «Советская энциклопедия». Москва, Ж-28, Покровский бульвар, д. 8.

Т-02991. Формат 70×108 1/16. Объем 34,0 физ. п. л.; 46,58 усл. п. л. + 6 вкл. (1,02), всего 47,6 усл. п. л., уч.-изд. л. 87,79 + вкл. 1,29, всего 89,08 уч.-издат. л. Тираж 56500 экз. Цена тома 2 р. 70 к. Заказ № 2181. Печать с матриц, изготовленных в Первой Образцовой типографии им. А. А. Жданова.

Московская типография № 2 «Главполиграфпрома» Государственного Комитета Совета Министров СССР по печати. Москва, Проспект Мира, 105. Заказ № 190.