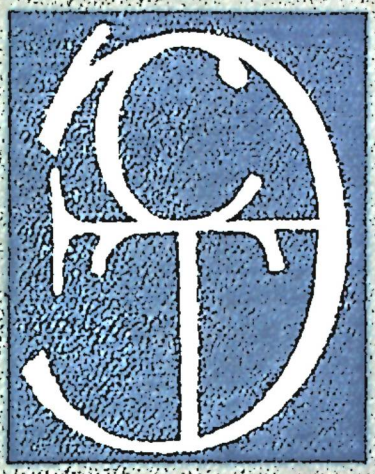
GA (U.S.)
A 224



ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ 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 · 1963

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, А. В. ХРАМОЙ, Я. З. ЦЫПКИН, А. Б. ЧЕЛЮСТКИН, Ю. А. ШРЕЙДЕР

2

К—Погрешность измерения

ГОСУДАРСТВЕННОЕ НАУЧНОЕ ИЗДАТЕЛЬСТВО
«СОВЕТСКАЯ ЭНЦИКЛОПЕДИЯ»

621(03)
Э22
6П2.15(03)
А22

РЕДАКТОРЫ ОТДЕЛОВ

Теория автоматического регулирования — 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 — к. т. н., доцент Д. И. АГЕЙКИН. Теория устройств релейного действия — д. т. н., проф. М. А. ГАВРИЛОВ. Системная автоматика — д. т. н., проф. В. А. ВЕНИКОВ. Автоматизированный электропривод — к. 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. 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 — чл.-корр. АН СССР А. А. ХАРКЕВИЧ. Электронные и ионные приборы и преобразователи — чл.-корр. АН СССР Д. В. ЗЕРНОВ, чл.-корр. АН СССР П. В. ТИМОФЕЕВ. Полупроводниковые приборы — доцент А. А. МАСЛОВ. 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: англ. — к. т. н. О. И. АВЕН, инж.-докт., проф. В. БРОЙДА (V. BROÏDA); франц. — инж.-докт., проф. В. БРОЙДА (V. BROÏDA); нем. — докт.-инж. П. НЕЙДХАРДТ (P. NEIDHARDT).

СОТРУДНИКИ РЕДАКЦИИ

Зав. редакцией — к. т. н. Д. М. БЕРКОВИЧ,
ст. научные редакторы — к. т. н. М. Д. БОЧАРОВА, инж. И. Н. ДЕЛОНЕ, 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 — Т. И. ПАВЛОВА.
Корректорская — М. В. АКИМОВА,
Ю. А. ГОРЬКОВ, Л. П. СОКОЛОВА.

230110
Центральная научная
БИБЛИОТЕКА
Академии наук Киргизской ССР

К

КАБЕЛЬ (cable; câble; Kabel, Leitung) — одна или неск. изолированных токопроводящих жил, заключенных в общую оболочку. В зависимости от назначения К. делятся на 3 основных типа: сильноточные (или силовые), слаботочные (или К. связи) и высокочастотные (или радиочастотные). Основными элементами с и л о в ы х К. являются токопроводящие жилы (медные или алюминиевые), изоляция из пропитанной кабельной бумаги, лакоткани и др., защитная оболочка из свинца, алюминия или пластмасс и защитные покровы (пропитанная кабельная пряжа, ленточная металлич. броня и др.). В зависимости от числа токопроводящих жил силовые К. могут быть одно-, двух-, трех- или четырехжильными. В связи с широким применением переменного трехфазного тока наибольшим распространением пользуются трехжильные силовые К.

Каждая жила многожильного К. покрыта изоляцией. Кроме этой изоляции, у многожильных К. напряжением 1—10 *кв* имеется слой изоляции, охватывающий все изолированные жилы К. Наибольшее распространение при изготовлении кабельной изоляции получили пластмассы, резина, изоляц. лаки и волокнистые материалы.

С л а б о т о ч н ы е К. делятся на многожильные и коаксиальные. Многожильные К. имеют большое число изолиров. проводов малого сечения, сгруппированных в одном К. Их разновидностью являются различные провода и шнуры, к-рые служат для распределения электрич. энергии однофазного тока и содержат две изолиров. жилы. Коаксиальные слаботочные К. применяются в ВЧ линиях связи. Основной критерий качества кабельных линий связи — ширина пропускаемого ими спектра частот. Чем шире спектр, тем большее количество передач можно организовать по данной кабельной магистрали. Воздушные двухпроводные линии с медными проводами имеют спектр пропускания до 150 000 *гц*, что позволяет одновременно проводить до 35 телефонных связей. Коаксиальный К. связи позволяет пропускать спектр частот до 6 *Мгц*, достаточный для передачи одной телевизионной программы или 1920 телефонных связей.

Отличит. особенности р а д и о ч а с т о т н ы х К.: возможность передачи широкого спектра частот при сравнительно малом затухании, высокая степень защищенности от внешних источников помех, малая степень излучения радиоволн, простота конструкции и монтажа, экономичность кабельной радиолинии. По мощности различают: кабели малой мощности — до 0,5 *квт*; кабели средней мощности — от 0,5 до 5 *квт*; кабели большой мощности — свыше 5 *квт*. Основным типом радиочастотного К. является коаксиальный (см. *Коаксиальная линия*). При тех же габаритах симметричный К. по сравнению с коаксиальным имеет в 1,5 раза большее затухание. Электрич. св-ва радиочастотного коаксиального К. обычно характеризуются следующими параметрами: погонной индуктивностью L; погонной емкостью C (см. *Индуктивность распределенная*, *Емкость распределенная*); коэфф. затухания β и волновым сопротивлением Z_c. Коэфф. затухания кабеля определяется по ф-ле

$$\beta = \frac{8{,}35\sqrt{f\varepsilon}\left(\frac{D}{d}+1\right)\cdot 10^{-6}}{12\,D\ln\frac{D}{d}} + \frac{10}{3}\pi f\sqrt{\varepsilon}\,\mathrm{tg}\,\delta\cdot 10^{-9}\left[\frac{\text{неп}}{\text{м}}\right],$$

где d — диаметр внутр. жилы; D — диаметр наружной оплетки; ε — диэлектрич. проницаемость материала изоляции, заполняющей К.; δ — угол диэлектрич. потерь материала изоляции; f — частота. Первый член этой ф-лы учитывает затухание за счет потерь в металле, а второй — затухание за счет потерь в диэлектрике. Волновое сопротивление К. определяется по ф-ле

$$Z_c = \sqrt{L/C} = 60/\sqrt{\varepsilon},$$

где C — погонная или полная емкость К.; L — погонная или полная индуктивность К. У применяемых на практике радиочастотных коаксиальных К. величины волновых сопротивлений равны 50, 75 или 100 *ом*. Один из широко распространенных радиочастотных кабелей РК-1 имеет след. данные: диаметр внутр. жилы d=0,68 *мм*; диаметр наружной оплетки D=7,3 *мм*; сплошная полиэтиленовая изоляция; волновое сопротивление Z_c=75 *ом*; погонная емкость C не более 68 *пф/м*; β = =0,096 *дб/м* (на частоте 100 *Мгц*).

Радиочастотные К. применяются для передачи ВЧ энергии в линиях дальней связи и для подключения передатчиков и приемников к соответствующим антеннам в различных

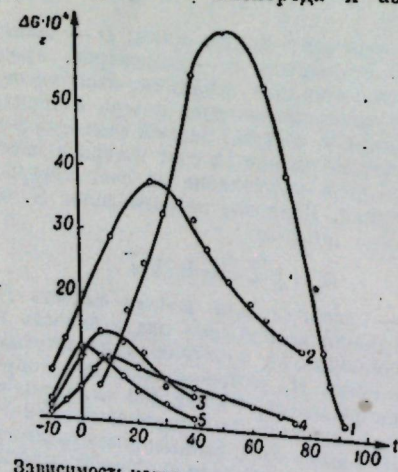
устройствах УКВ диапазона: телевизионных и радиорелейных линиях связи, в радиолокац. и радионавигац. установках и т. п. Практически коаксиальные радиочастотные К. используются до частот 3 000 *Мгц* (длина волны 10 *см*). Для передачи энергии на более высоких частотах применяются волноводы.

Лит.: Брагин С. М., Электрический кабель, М.—Л., 1955; Белоруссов Н. И. и Гроднев И. И., Радиочастотные кабели, 2 изд., М.— Л., 1959.

Е. Ю. Немиот.

КАБЕЛЬ ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ (pneumatic cable; câble pneumatique; pneumatische Leitung)— см. *Длинная линия пневматическая.*

КАВИТАЦИОННАЯ ЭРОЗИЯ (cavitational erosion; erosion de cavitation; Kavitations-Erosion) —разрушение поверхности твердого тела, вызываемое ударными волнами, образующимися при захлопывании кавитац. пузырьков (см. *Кавитация ультразвуковая*). К. э. нежелательна в случае гидродинамич. кавитации, вызывает вредное разрушение поверхностей УЗ излучателей; в УЗ технологии она является положит. фактором, лежащим в основе ряда процессов (см. *Дегазация ультразвуковая*, *Ультразвуковая очистка*, *Ультразвуковая пайка* и др.). Степень К. э. определяется энергией ударной волны и количеством образовавшихся кавитац. пузырьков. Интенсивность ударной волны зависит от радиуса пузырька и скорости его захлопывания, к-рая связана с упругостью паров и газов, заполняющих внутренность пузырька. С увеличением темп-ры растет количество образующихся в единицу времени пузырьков и поэтому степень К. э. сначала растет; однако, при дальнейшем увеличении темп-ры, упругость содержимого пузырька возрастает настолько быстро, что скорость захлопывания; а следовательно и К. э., пройдя через максимум, начинает падать и может дойти до нуля. Положение максимума определяется рабочей жидкостью и растворенными в ней газами, а также растворимостью в жидкости газа, находящегося над ней. Большой максимум для воды (рис.) объясняется малой растворимостью кислорода и азота в



Зависимость кавитационной эрозии от темп-ры для жидкостей в воздухе: *1* — вода; *2* — керосин; *3* — бензин; *4* — этиловый спирт; *5* — ацетон; ΔG — количество вещества, удаленного в результате эрозии.

воде. Если воду насытить углекислотой, растворимость к-рой в воде значительно больше, К. э. падает практически до нуля. Для каждой рабочей жидкости можно подобрать газовую атмосферу, определяющую ту или иную степень К. э. Кроме непосредств. разрушения поверхности, вызываемого ударными волнами, при К. э. колеблющиеся пузырьки проникают в трещины и поры и способствуют отделению частиц поверхностного загрязнения или частиц обрабатываемого материала от основной массы. В результате могут возникнуть разрушения, значительно повышающие разрушение, вызванное непосредственно кавитацией, однако последнее является инициирующим, т. к., напр., на гладкой поверхности колеблющимся пузырькам некуда проникнуть до тех пор, пока ударная волна не создаст начальное разрушение.

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., М., 1956; Бебчук А. С., Макаров Л. С. и Розенберг Л. Д., О механизме кавитационного разрушения поверхностных плёнок в звуковом поле, «АЖ», 1956, т. 2, № 2, с. 113; их же, О физических основах ультразвуковой очистки, «Техн. информ. бюл.», 1957, № 3(9).

Л. Д. Розенберг.

КАВИТАЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ (ultrasonic cavitation; cavitation ultra-sonique; Ultraschall-Kavitation) — образование разрывов жидкости под действием интенсивных УЗ колебаний. Кавитация гидродинамич. происхождения, возникающая, например, на поверхностях гребных винтов, роторов гидротурбин и др., давно известна как вредное явление, вызывающее быстрое разрушение близлежащих поверхностей. К. у. может быть сделана управляемой и поэтому является полезным эффектом, лежащим в основе очень многих пром. применений УЗ. В моменты, соответствующие фазе разрежения волны, жидкость подвергается действию усилий всестороннего растяжения, в результате к-рого наступают разрывы по слабым местам (кавитац. зародышам), к-рыми могут быть мельчайшие твердые частицы, взвешенные в жидкости, или микроскопич. газовые пузырьки. Образовавшаяся в результате разрыва полость через неск. периодов колебаний увеличивается, принимает сферич. форму и заполняется парами жидкости и диффундирующими в пузырек растворенными в жидкости газами. Очень скоро пузырек захлопывается; выброшенные из него пары и газы оказываются ионизированными и образовывают в жидкости различные химически активные радикалы; это основной фактор, определяющий химич. действие УЗ колебаний. Процесс захлопывания сопровождается образованием ударной волны, давление в к-рой может достигать, в зависимости от радиуса пузырька и времени захлопывания, сотен и тысяч атмосфер. Эти ударные волны — основной фактор, определяющий механич. разрушающее действие К. у. (см. *Кавитационная эрозия*). Миним. звуковое давление или миним. интенсивность УЗ, при к-рой начинается К. у., наз. порогом кавитации; порог зависит от природы жидкости, степени ее загрязнения, наличия газовых пузырьков или взвеш. частиц, темп-ры жидкости и гидростатич. давления (см. табл.).

Для тщательно дистиллиров. и обезгаженной воды величина порога К. у. значительно больше: напр., на частоте 500 *кгц*—270—380 *ат*, 25 000—50 000 *вт/см²*. При увеличении интенсивности звука выше порогового значения на месте единичных пузырьков появляется кавитац. облачко. Кавитация практически проявляется на небольшом расстоянии от

Зависимость порога ультразвуковой кавитации от частоты ультразвуковых колебаний для водопроводной воды (при комнатной темп-ре и атм. давлении)

Частота, *кгц*	Звуковое давление, *ат*	Интенсивность звука, *вт/см²*
3	0,5	0,16
15	0,5—2,0	0,16—2,6
175	4	10
365	7—20	33—270
500	12—25	100—400
3300	230—300	35 000—60 000

поверхности излучателя, приводя к ее усиленной эрозии. При захлопывании пузырьков образуется кавитац. шум, спектральный состав к-рого характеризуется гармониками и субгармониками колебаний исходного звукового поля, а также непрерывным спектром (см. *Шум белый*). Если основная рабочая частота, как это принято в большинстве УЗ технологич. процессов, составляет около 20 *кгц*, то ее субгармоники попадают в область слышимых человеч. ухом частот и могут травмировать обслуживающий персонал. Вместо устройства дорогих и громоздких приспособлений для шумоглушения часто повышают рабочую частоту до 40 *кгц*. К. у. вызывает усиленное перемешивание жидкости микропотоками, образующимися вблизи колеблющихся пузырьков. Это перемешивание обычно полезно в механич. и в химич. применениях УЗ. Образование в жидкости в результате К. у. большого количества пузырьков приводит к увеличению ее сжимаемости и, следовательно, к уменьшению скорости распространения УЗ волн и сопротивления излучения. Последнее за счет К. у. при достаточной ее интенсивности может уменьшаться в 2—3 раза; это следует учитывать при расчете нагрузок УЗ излучателей, работающих в кавитац. режиме.

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., М., 1956; Матаушек И., Ультразвуковая техника, пер. с нем., М., 1962.

Л. Д. Розенберг.

КАЛИБРОВКА ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ ПРИБОРОВ (measuring instrument calibration; etalonnage d'appareils de mesure; Eichung von Meßgeräten, Eichung des Meßgeräteparks) — определение погрешностей или поправок для совокупности значений шкалы прибора путем сравнения в различных сочетаниях отд. значений шкалы друг с другом. За основу сравнения берется одно из значений шкалы. Калибровка широко применяется в практике точной метрологич. работы, гл. обр. при изучении наборов и магазинов мер, разделенных линеек и кругов, шкал капиллярных трубок и др. Простейший способ калибровки — сравнение каждого размера с номинально равным ему (принимаемым за достаточно верный) размером. Это понятие не следует смешивать (как это часто делают) с градуированием (градуировкой) измерит. приборов, представляющим собой метрологич. операцию, при помощи к-рой делениям шкалы измерит. прибора придаются значения, выраженные в установл. единицах измерения.

Лит.: Маликов М. Ф., Основы метрологии, ч. 1, М., 1949.

Г. И. Кивалеров.

КАМЕРА ПНЕВМАТИЧЕСКАЯ [pneumatic cell; chambre (cellule) pneumatique; pneumatische Kammer] — элемент пневматич. приборов и устройств, состоящий из емкости и сопротивлений. Роль сопротивлений выполняют *дроссели пневматические*. К. п. может быть проточной (рис. 1,*а*) или глухой (рис. 1,*б*); проходные сечения дросселей и объем камеры могут быть перем. (рис. 1,*в*). При соответствующих хар-ках дросселей К. п. выполняет ф-ции сумматора, делителя, элемента для дифференцирования или интегрирования сигналов изменения давления, реле времени (таймера), фильтра гармоник и др. (см. *Регулятор пневматический*, *Вычислительное устройство пневматическое*). Хар-ки К. п. определяются с учетом специ-

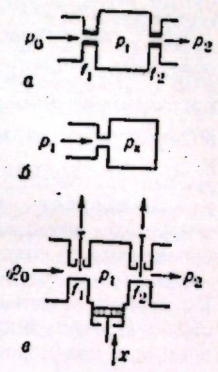


Рис. 1. Пневматические камеры: *а* — простейшая проточная камера; *б* — глухая камера; *в* — проточная камера с дросселями переменного сечения и с переменным объемом.

фич. особенностей каждого данного типа камер. Напр., для проточной камеры с турбулентными дросселями в статич. условиях отношение абс. давлений p_1/p_0 определяется в зависимости от отношения площадей проходного сечения дросселей f_1/f_2 (рис. 1,*а*) при различных отношениях давлений p_2/p_0 по графику рис. 2.

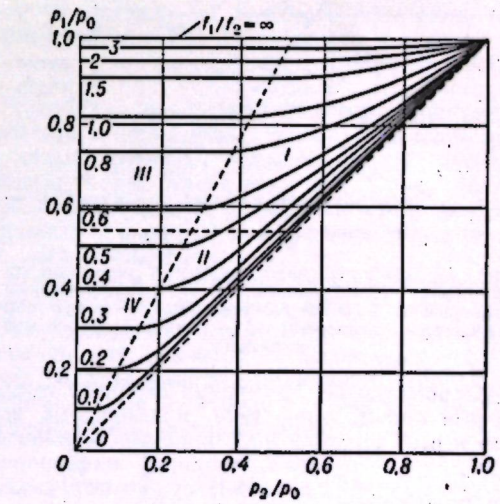


Рис. 2. Статич. характеристики проточной камеры с турбулентными дросселями.

Разработаны также методы расчета статич. хар-к проточных камер с ламинарными дросселями и дросселями смеш. типа и методы расчета переходных процессов в проточных и глухих камерах при дросселях различных типов. На этой основе решаются задачи, связанные с определением хар-к К. п. как элементов определенного функцион. назначения, напр. редуцирующая К. п., суммирующая К. п. Редуцирующая К. п.— проточная К. п., в к-рой отношение давления в камере к давлению на входе остается постоянным при произвольных изменениях давлений на входе в камеру и на выходе из нее. С помощью редуцирующей К. п. при произвольных изменениях давлений p_0 и p_2

(рис. 3,*а*) может поддерживаться заданное отношение абс. давлений p_1/p_0 или заданное отношение избыточных давлений p_1^*/p_0^* (в зависимости от хар-к дросселей и перепадов давлений, под к-рыми протекает через них газ). Для неизменности отношения абс. давлений p_1/p_0 необходимо, чтобы при *дросселях турбулентных 1* и *2* истечение в выходном дросселе было надкритич. Зависимость величины p_1/p_0 от отношения площадей f_2/f_1 проходного сечения дросселей *2* и *1* при $\frac{p_1}{p_0} > 0{,}53$ для воздуха представлена хар-кой (рис. 3,*б*). При $\frac{p_1}{p_0} < 0{,}53$ величина $\frac{p_1}{p_0} = \frac{f_1}{f_2}$. В случаях, когда входного давления недостаточно для создания надкритич. перепада давлений в выходном дросселе, искусственно понижают давление на выходе с помощью эжекторов. К. п. как элементы пропорц. редуцирования абс. давлений широко применяются в авиац. технике, напр. для регулирования отношения давлений (рис. 4,*а*). На принципе пропорц.

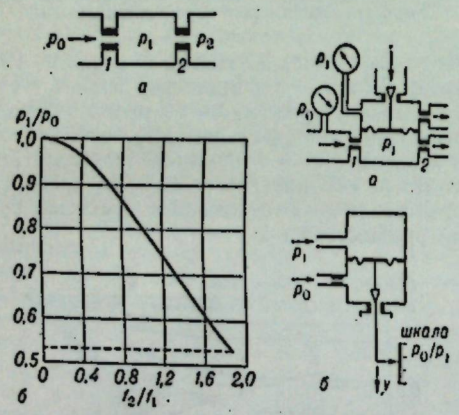


Рис. 3.

Рис. 4.

Рис. 3. Редуцирующая камера: *а* — схема; *б* — хар-ка $\frac{p_1}{p_0} = \varphi\left(\frac{f_2}{f_1}\right)$.

Рис. 4. Приборы, действие к-рых основано на принципе пропорционального редуцирования давлений в пневматич. камере: *а* — регулятор отношения давлений; *б* — датчик отношения давлений.

редуцирования абс. давлений строятся также нек-рые авиац. пневматич. приборы, на выходе к-рых получаются линейные перемещения, пропорц. измеряемой величине отношения давлений (рис. 4,*б*); к числу таких приборов относятся нек-рые типы махметров, корректоры, производящие перенастройку регуляторов в зависимости от отношения давлений до и после компрессора или турбины, и др.

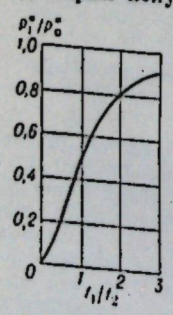


Рис. 5. Хар-ка $\frac{p_1^*}{p_0^*} = \varphi\left(\frac{f_1}{f_2}\right)$ для камеры — элемента редуцирования избыточных давлений.

Пропорц. редуцирование избыточных давлений достигается в проточной камере с турбулентными дросселями при малых перепадах давлений во входном и в выходном дросселе (рис. 5). Проточная камера с *дросселями ламинарными* также может выполнять ф-ции элемента для пропорц. редуцирования избыточных давлений (при ламинарных дросселях невозможно поддержание пост. отношения абс. давлений p_1/p_0, если давление p_2—переменное). К. п. используется в пневматич. регуляторах соотношения общепром. назначения как пропорц. редуктор избыточных давлений.

Суммирующая К. п. имеет неск. (по количеству суммируемых давлений) дросселей, хар-ки к-рых таковы, что давление в

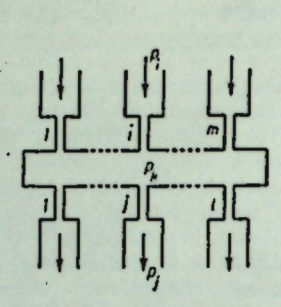


Рис. 6.

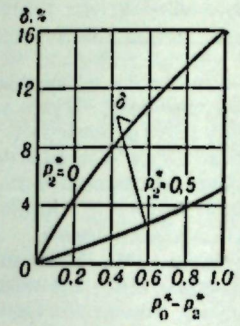


Рис. 7.

Рис. 6. Схема пневматической камеры — сумматора давлений.

Рис. 7. Хар-ки $\delta=\varphi(p_0^*-p_2^*)$ при $p_2^*=0$ $p_2^*=0{,}5$.

камере пропорционально сумме давлений, подводимых к дросселям. К суммирующей К. п. (рис. 6) воздух подводится через *m* входных дросселей и вытекает через *l* выходных дросселей. При использовании *дросселей ламинарных* и при работе с относительно малыми перепадами давлений, при к-рых хар-ки расхода дросселей в суммирующей К. п. близки к линейным: $G=c\Delta p$, где G — весовой секундный расход; Δp — разность давлений до и после дросселя; c — коэфф. пропорциональности. В зависимости от соотношения между величинами внешних давлений p_i и p_j и величиной давления в камере p_k с изменением внешних давлений значения m и l могут меняться, однако при этом $m+l=n=\text{const}$ (n — общее число дросселей).

Если хар-ки дросселей различны, то

$$p_k=\frac{\sum_{i=1}^{m} c_i p_i + \sum_{j=1}^{l} c_j p_j}{\sum_{i=1}^{m} c_i + \sum_{j=1}^{l} c_j}.$$

Когда же все c_i и c_j равны между собой,

$$p_k=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} p_i,$$

где p_i — внешнее давление у нек-рого входного или выходного дросселя. Точность выполнения операции суммирования с помощью такой К. п. зависит от того, в какой мере истинные хар-ки расхода дросселей отвечают линейной хар-ке расхода, описываемой ур-нием $G=c\Delta p$. Напр., из-за сжимаемости (изменения плотности) воздуха при суммировании давлений в камере с ламинарными дросселями появляется погрешность, определяемая как $\delta=\frac{p_k^*-\overline{p}_k^*}{\overline{p}_k^*}100$, где p_k^* — истинное избыточное давление в камере, $\overline{p}_k^*$ — избыточное давление в камере, которое было бы при отсутствии влияния сжимаемости воздуха, причем все давления считаются избыточными над атмосферным, условно принимаемым равным 1 *кг/см²*. Величина δ подсчитывается по формуле

$$\delta=\frac{\sqrt[n]{1+\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(p_i^{*2}+2p_i^*\right)}-\left(n+\sum_{i=1}^{n}p_i^*\right)}{\sum_{i=1}^{n}p_i^*}100\%.$$

На рис. 7 указаны значения δ для частного случая, когда перед всеми входными дросселями поддерживается равное давление p_0^*, а давление на выходе всех остальных дросселей равно в одном случае $p_2^*=0$ *ати* и в другом $p_2^*=0{,}5$ *ати*. В нек-рых случаях бо́льшая точность работы К. п. может быть достигнута компенсацией различных по знаку отклонений в хар-ках дросселей, вызываемых, с одной стороны, влиянием сжимаемости воздуха и, с другой — влиянием условий течения на начальном участке формирования ламинарного потока или же при выходе из области чисто ламинарного течения — влиянием турбулизации потока.

Суммирующая К. п. может иметь дополнит. проточный дроссель; поток воздуха, выходящий из дополнит. дросселя, несет в себе сигнал суммы давлений, подводимых к основным дросселям.

Лит.: Залманзон Л. А., Проточные элементы пневматических приборов контроля и управления, М., 1961; Цейров Е. М., Вопросы газовой динамики воздушных выключателей, М.— Л., 1956 (Тр. ВИЭ, вып. 60); Залманзон Л. А., Графики для определения параметров установившегося истечения воздуха через системы калиброванных отверстий в пневматических регуляторах, «АиТ», 1952, т. 13, № 2; Березовец Г. Т., Пневматические регуляторы соотношения без механических делителей, там же, 1956, т. 17, № 5; Степанов Г. П., Погрешности работы пневматических редукторов, обеспечивающих пропорциональное редуцирование давлений, в сб.: Автоматическое регулирование авиадвигателей, вып. 2, М., 1960; Ивличев Ю. И., Наджафов Э. М., Вопросы построения пневматических счетно-решающих устройств, в кн.: Вопросы пневмо- и гидроавтоматики, М., 1960; Ивличев Ю. И., Суммирование давлений на пневматической камере с компенсирующим дросселем, «П», 1960, № 6. *Л. А. Залманзон.*

КАНАЛ, канал связи (channel; canal; Kanal),— совокупность устройств и физич. сред, передающих сигналы. С помощью К. сигналы передаются из одного места в др., а также переносятся во времени (при хранении информации). Наиболее распростр. устройства, входящие в состав К.: усилители, антенные системы, коммутаторы и фильтры. В качестве физич. среды часто используются пара проводов, коаксиальный кабель, волновод, среда, в к-рой распространяются электромагнитные или акустич. волны или поток корпускул и др. При хранении информации такой средой могут служить трубки памяти, магнитные ленты и барабаны, ферритовые кольца, ламповые схемы и др. С точки зрения техники связи наиболее важными хар-ками К. являются искажения, к-рым подвергаются передаваемые по нему сигналы. Различают искажения линейные и нелинейные. Линейные искажения состоят из частотных и фазовых искажений и описываются переходной хар-кой К. или, что эквивалентно, комплексным коэфф. передачи К. Нелинейные искажения даются нелинейными зависимостями, указывающими, как изменяется сигнал при прохождении по К. Количеств. оценку нелинейных искажений производят при помощи коэфф. нелинейных искажений, к-рый представляет собой корень квадратный из отношения мощности гармоник к мощности осн. частоты.

К. характеризуется совокупностью сигналов, к-рые посылаются на передающем конце, и сигналами, к-рые принимаются на приемном конце. В случае, когда сигналы на входе и выходе К. являются ф-циями, определенными на дискретном множестве значений аргумента, К. наз. дискретным. Такими К. пользуются, напр., при импульсных режимах работы передатчиков, в телеграфии, телеметрии, радиолокации. Непрерывным наз. К., сигналы на выходе и входе к-рого представляют собой непрерывные ф-ции. Такие каналы широко используются в телефонии, радиовещании, телевидении. Дискретные и непрерывные К. широко применяются также в автоматике и телемеханике.

К., в которых вредным действием помехи можно практически пренебречь, называются каналами без помех. Наиболее распространенным К. с помехами является такой, у которого сигнал на выходе $y(t)$ равняется сумме сигнала на входе $x(t)$ и шума $z(t)$

$$y(t)=x(t)+z(t). \qquad (1)$$

Причины возникновения шума $z(t)$: дробовой шум в электронных лампах, тепловой шум в сопротивлениях, космич. шумы, индустр. помехи и др. Часто шум $z(t)$ представляет собой гауссовский случайный стационарный процесс с равномерной спектр. плотностью (т. наз. «белый шум»).

В средне- и коротковолновых радиоканалах существенно проявляются интерференц. явления, вызывающие замирания принимаемого сигнала, что является следствием многолучевого распространения радиоволн в таких К. Многолучевые К. в ряде случаев хорошо схематизируются соотношением:

$$y(t)=\sum_{i=1}^{M}\alpha_i(t)\,x[t-\tau_i(t)]+z(t),$$

где $\alpha_i(t)$ и $\tau_i(t)$ описывают временные изменения амплитуды и фазы каждого луча, а M — общее число лучей в К. В квантово-механич. усилителях и генераторах, работающих в области весьма коротких электромагнитных волн (ИК и видимого спектра), начинает сказываться эффект квантовых флуктуаций — «квантовый шум». В волноводных К. осн. помеха — попутный поток, к-рый является отражением передаваемого сигнала от шероховатых стенок волновода.

Несколько различных К. могут использовать одну и ту же технич. линию связи. В этих случаях (напр., в многоканальных линиях связи с частотным или временным разделением сигналов) К. объединяются и разъединяются с помощью спец. коммутаторов или фильтров. Иногда, наоборот, один К. использует неск.

технич. линий связи, напр. в многопутевых системах и, в частности, в системах с разнесенным приемом УКВ.

По структуре К. делят на 2 класса: без обратной связи и с обратной связью. По К. с обратной связью можно передавать информацию с выхода К. на его вход; в К. без обратной связи такая возможность отсутствует.

Несмотря на большое разнообразие физич. явлений и технич. аппаратуры, используемых в К. связи, теория информации создала единый подход к описанию свойств и возможностей К. (см. *Информации теория*). Простейшим является такой дискретный К., на входе к-рого через равные промежутки времени появляются сигналы $x_i(i=1, \ldots, m)$, а на выходе — сигналы $y_j(j=1, \ldots, k)$ [напр., телетайпный К., по к-рому передаются 32 различных сигнала ($m=k=32$)]. Совокупность $x_i(i=1, \ldots, m)$ наз. входным алфавитом К., а совокупность $y_j(j=1, \ldots, k)$ — выходным. Входящие в алфавит сигналы наз. соответственно буквами на входе и выходе К. Последовательности букв x_i на входе К. соответствует последовательность букв y_j на выходе. Если в К. имеются случайные помехи, то при передаче буквы x_i с вероятностью $p(j/i)$ может быть принята буква y_j. В практич. ситуациях вероятности $p(j/i)$ могут быть как известными, так и неизвестными, или известными с нек-рой точностью. Вероятность $p(j/i)$ того, что буква x_i перейдет в букву y_j, может зависеть также и от того, какие предыдущие входные буквы были переданы и какие выходные приняты. Если такая зависимость имеется, то К. наз. каналом с памятью. В случае, когда такая зависимость отсутствует, К. наз. каналом без памяти. В К. без памяти совокупность $p(j/i)$ ($i=1, \ldots, m$; $j=1, \ldots, k$) образует стохастич. матрицу (т. наз. матрицу переходных вероятностей К.). Большой практич. и теоретич. интерес представляют бинарные симметричные К. В таких К. $m=k=2$, $p(1/1)=p(2/2)=p$ и $p(1/2)=p(2/1)=q$.

На передаваемые по К. сигналы могут быть наложены некоторые ограничения. Наиболее часто ограничивается пиковая или ср. мощность сигналов. Встречаются также ограничения, не допускающие передачи определенных последовательностей входных букв. К. считается заданным, если заданы входной и выходной алфавиты К., вероятности $p(j/i)$ и ограничения, накладываемые на сигналы.

Весьма существенным является число различаемых сигналов, имеющихся на входе К. Любой допустимой последовательности длины n входных букв можно сопоставить множество последовательностей длины n выходных букв, в которое переходит первонач. последовательность с вероятностью, близкой к единице. N последовательностей длины n входных букв наз. различимыми, если множество последовательностей длины n на выходе можно разбить на N непересекающихся подмножеств так, чтобы каждая из N входных последовательностей переходила в одно из подмножеств с вероятностью, близкой к единице, и разные последовательности переходили бы с этой вероятностью в разные подмножества. Если кодировать сообщения, поступающие от источника сообщений, лишь в различимые сигналы, то можно осуществить передачу со сколь угодно малой вероятностью ошибки. Поэтому, чем больше макс. число различимых сигналов длины n, тем больше информации можно пропустить по К. Весьма интенсивно развиваются методы построения различимых сигналов для целого ряда К. Эти вопросы решаются в теории корректирующих кодов. Фундаментальным достижением теории информации является доказательство того факта, что для весьма широкого класса каналов число различимых сигналов можно выбрать так, чтобы

$$N > 2^{n(C-\lambda)},$$

где λ — произвольное положит. число, меньшее $^1/_2$, C — пропускная способность К.

Пропускная способность К. определяется как верхняя грань скоростей передачи информации, имеющая место при вариации по всевозможным допустимым распределениям сигналов на входе К. В теории информации *пропускная способность канала* является осн. хар-кой канала. В наст. время получены ф-лы для пропускных способностей целого ряда дискретных К. Так, пропускная способность бинарного симметричного К. без памяти имеет вид

$$C = 1 + p \log p + q \log q$$

и достигается в случае, когда вероятности букв на входе равны $^1/_2$.

В К. без памяти, у к-рого входной алфавит состоит из m букв, а выходной из $k=m+1$ букв и при том $p(i/i)=p$ $(i=1, \ldots, m)$,

$$\sum_{j=1,\ j\neq i}^{m} p(j/i) = q,\ p(m+1/i)=r\ (i=1, \ldots, m),$$

$p+q+r=1$, пропускная способность выражается ф-лой:

$$C = (1-r)\log\frac{m}{1-r} + q\log\frac{q}{m-1} + p\log p.$$

Пропускная способность в этом случае достигается при равновероятных буквах на входе К.

При исследовании непрерывных К. часто оказывается удобным сводить их к дискретным К. с помощью *Котельникова теоремы*. При этом для получения нек-рых количественных и качественных хар-к К. пользуются геометрич. интерпретацией сигналов и К. Согласно теореме Котельникова, непрерывный сигнал, лежащий в полосе частот ширины W гц, обладает $2W$ независимыми значениями на интервале времени, равном 1 сек. Такие сигналы могут быть представлены как точки в пространстве, имеющем размерность, равную числу назависимых значений сигнала. Для расчета пропускных способностей ряда наиболее часто встречающихся на практике непрерывных К. найдены ф-лы; в частности, К., описываемый равенством (1), где $z(t)$ — «белый шум», обладает пропускной способностью $C=W\log(1+P/N)$, где P и N — ср. мощности сигнала и шума.

Лит.: Шэннон К., Статистическая теория передачи электрических сигналов, в кн.: Теория передачи электрических сигналов при наличии помех. Сб. переводов, М., 1953; Хинчин А. Я., Об основных теоремах теории информации, «УМН», 1956, т. 11, вып. 1 (67); Колмогоров А. Н., Теория передачи информации, М., 1956.

Б. С. Цыбаков.

КАНАЛ АКУСТИЧЕСКИЙ (acoustical channel; canal acoustique; akustischer Kanal) — канал, в к-ром передача сигналов осуществляется с помощью звуковых или УЗ явлений. В К. а. для управления или контроля может быть применен пассивный сигнал, т. е. акустич. явление, возникающее в технологич. процессе, и активный, когда для выполнения определенных операций специально создаются звуковые или УЗ сигналы. Типичный пример первых — К. а. для отбраковки изделий или агрегатов по признаку их шумности (рис. 1). На индикаторе канала отображается картина спектра и одновременно указываются допуски шумности в выбранном диапазоне частот. Контролируемое изделие находится на конвейере, проходящем через акустич. камеру. Как правило, за спектром наблюдает оператор, удаляющий изделия из технологич. процесса при превышении допусков по шумности; принципиально возможна и автоматизация отбраковки. Такие К. а. используются, напр., для контроля качества агрегатов, содержащих зубчатые передачи, и т. п. Для автоматич. управления технологич. процессом пассивные сигналы могут использоваться в технологич.



Рис. 1.

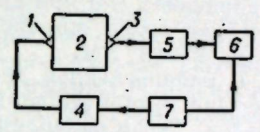


Рис. 2.

Рис. 1. Блок-схема пассивного акустич. канала: *1* — акустич. камера; *2* — контролируемое изделие (агрегат); *3* — звукоприемник; *4* — усилитель; *5* — спектральный анализатор; *6* — индикатор.

Рис. 2. Блок-схема активного акустич. канала: *1* — источник звука, создающий звуковое поле в контролируемой среде; *2*, *3* — звукоприемники; *4* — звуковой генератор, питающий источник звука; *5* — усилитель; *6* — индикатор (электронный осциллоскоп); *7* — хронизатор.

операции, когда наблюдается характерное изменение шума, связанное с наступлением определ. фазы процесса (напр., возникновение или исчезновение кавитац. шума, изменение шума бойлеров, изменение характера шума при помоле и т. п.). Пассивные сигналы служат и для контроля параметров изделий, не являющихся источником шума, если собственные их частоты будут выражены достаточно четко.

При активных сигналах с помощью звукового или УЗ излучения определяют параметры контролируемой среды, изменяющиеся в технологическом процессе, или обнаруживают к.-л. нежелательные включения. Для этого класса К. а. типичен, напр., К. а. ультразвукового дефектоскопа (рис. 2). Поскольку в таких устройствах чаще всего осуществляется импульсное звуковое или УЗ излучение, в схему обычно входит хронизатор, управляющий импульсными посылками генератора и синхронизующий действие генератора с разверткой электронного осциллоскопа. Подобные К. а. действуют на основе приема звукового сигнала, проходящего сквозь контролируемую среду (напр., *ультразвуковая дефектоскопия* «на просвет»), либо сигнала, отраженного или рассеянного к.-л. включениями в среде (напр., обычная УЗ дефектоскопия); при этом происходит определение относит. энергии проходящего или отраженного (рассеянного) звукового сигнала. С некоторыми дополнениями активные К. а. могут использоваться на основе наблюдения изменений скорости распространения звука в контролируемой среде (напр., УЗ газовые анализаторы) или на основе наблюдения допплеровских эффектов (напр., УЗ расходомеры). Активные сигналы могут быть применены и для дистанц. измерения и контроля геометрич. и динамич. параметров в технологич. установках. При этом отражение звукового импульса от препятствия (поверхность раздела сред, поверхность изделия и т. п.) может быть использовано для определения смещений, а эффект Допплера — для измерения скоростей. Типичными примерами являются импульсные УЗ измерители уровня, УЗ бесконтактные измерители динамич. смещений и т. п. Возможность широкого изменения характера модуляции звукового сигнала (АМ, ИМ, ЧМ, ФМ) и применения разнообразных методов обработки сигнала позволяют приспособить активные сигналы для разнообразных потребностей технологич. управления и контроля.

Преимуществом обоих типов К. а. является отсутствие к.-л. воздействия их на технологич. процесс: дефектоскопы позволяют контролировать изделия без нарушения их структуры; расходомеры практически не уменьшают живого сечения трубопроводов; бесконтактные измерители динамич. смещений не оказывают реакции на контролируемое изделие; акустич. тракт не влияет на режим контролируемого агрегата и т. д. Вследствие гибкости методов введения звуковой энергии в контролируемую среду К. а. могут быть использованы при работе с агрессивными и опасными средами и веществами.

Вариантом К. а., имеющего большое перспективное значение, но не нашедшего еще практич. применения в технологии, является К. а. для управления машинами и агрегатами с помощью речевых и др. акустических сигналов. Использование К. а. для передачи информации в системе технологич. управления или контроля принципиально возможно; однако преимущества проводных и радиоканалов очевидны.

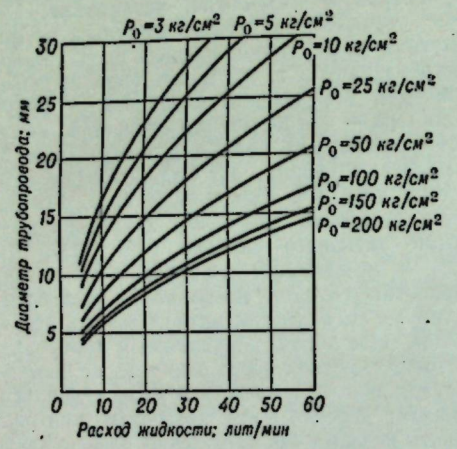
В. С. Григорьев.

КАНАЛ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ (hydraulic channel; canal hydraulique; hydraulischer Kanal) — канал, в к-ром передача сигналов осуществляется посредством рабочей жидкости. Площадь живого сечения К. г. оказывает существ. влияние на хар-ки гидравлич. систем и механизмов. Чрезмерно большая площадь приводит к увеличению габаритов гидравлич. устройств, а заниженная — к возникновению больших гидравлич. сопротивлений и увеличению влияния массы жидкости, проходящей через К. г., на динамич. свойства системы в целом, что ухудшает ее рабочий процесс. Площадь живого сечения К. г. определяется по предельно допустимой скорости рабочей жидкости (табл.).

Допустимые скорости потока жидкости $v_{доп}$ в К. г. и в коротких ($l \leqslant 50$см) трубопроводах в зависимости от давления P_0 в напорной магистрали

P_0 (кг/см²)	$v_{доп}$ (см/сек)	P_0 (кг/см²)	$v_{доп}$ (см/сек)
3	80	50	300
5	100	100	440
10	130	150	540
25	200	200	600

Для длинных трубопроводов (1—3 *м*) допустимую скорость жидкости уменьшают по сравнению с указанной в табл. на 15—25%. Во всасывающих каналах или трубопроводах жидкость не испытывает больших ускорений,



Внутр. диаметр канала или короткого (до ~ 50 *см*) трубопровода в ф-ции наибольшего расхода рабочей жидкости.

поэтому ее допустимую скорость без принудит. подпора можно выбирать в пределах 200—250 *см/сек*. При принудит. подпоре $v_{доп}$=300—400 *см/сек*. Диаметр канала или трубопровода определяется по ф-ле

$$d_k = \sqrt{\frac{4Q_{макс}}{\pi v_{доп}}},$$

где $Q_{макс}$ — наибольший расход жидкости, протекающей через канал (рис.). *В. А. Хохлов.*

КАНАЛ ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ (pneumatic channel; canal pneumatique; pneumatischer Kanal) — см. *Длинная линия пневматическая.*

КАНАЛ РАДИО И РАДИОРЕЛЕЙНЫЙ (radio and radio-relay channel; canal radio et à relais radio; drahtloser und Zubringer-Kanal, drahtloser Kanal und Kanal von Richtfunkstrecken) — канал, в котором передача сигналов осуществляется с помощью электромагнитных колебаний радиодиапазона. По характеру передаваемой информации различают каналы: радиотелеграфные, радиотелефонные, радиовещательные, телевизионные, радиолокационные, телемеханики, передачи данных и т. д. К. р. и р. имеет полосу частот, необходимую для передачи сигнала, и резервы, связанные с возможной нестабильностью частоты колебаний передатчика или гетеродина приемника. Полоса частот радиоканала всегда ограничена и ее расширение нежелательно, поэтому резервы сводят к необходимому минимуму, применяя стабилизацию частоты в передатчике и автоподстройку частоты в приемнике. Тогда полоса частот радиоканала зависит только от характера передаваемого сигнала и от принятого метода *модуляции*. Любой модулирующий сигнал, еще не прошедший через передатчик, содержит определенную полосу частот колебаний, свойственную данному типу сигнала. Так, напр., стандартный телеф. сигнал — до 3200 *гц*, телевиз. сигнал — до 6 *мгц* и т. д. Наиболее распространенной является АМ. Сигнал, передаваемый этим методом, займет в процессе передачи полосу частот, вдвое более широкую, чем наивысшая модулирующая частота сигнала F_m, т. к. АМ требует передачи колебаний несущей частоты и колебаний двух боковых полос, каждая шириной в F_m. Поэтому полоса частот радиосигнала $\Pi=2F_m$ для радиотелеф. передачи Π=6400 *гц*. При усложнении аппаратуры возможен способ однополосной передачи, позволяющий сократить полосу частот в два раза, до $\Pi=F_m$. Этим способом (с неполностью подавленной одной боковой полосой частот) передается телевиз. сигнал.

При ЧМ полоса частот радиосигнала зависит от индекса модуляции $m=\frac{\Delta f}{F_m}$, где Δf — девиация частоты. При узкополосной ЧМ $m<1$ и $\Pi\simeq 2F_m$, т. е. полоса частот такая же, как при АМ. Но выгоды ЧМ (большая помехозащищенность) хорошо реализуются только при $m\gg 1$ (широкополосная модуляция). В этом случае $\Pi\simeq 2mF_m$. Более точная формула, охватывающая оба случая, имеет вид: $\Pi=2F_m(1+m+\sqrt{m})$. Так, напр., при высококачеств. радиовещат. передаче методом ЧМ можно принять F_m=15 *кгц*, m=5. Тогда Π=250 *кгц*. Радиоканал ЧМ при прочих равных условиях требует более широкой полосы частот, чем радиоканал АМ.

В радиорелейной линии на одной несущей обычно организуется не один, а группа каналов. Такая радиолиния наз. стволом, к-рый приспосабливают для передачи на одной несущей неск. десятков, сотен, а иногда и тысяч независимых сообщений методом т. н. уплотнения линий передачи. Многоканальная передача в известных пределах может быть реализована и в обычной радиолинии, что, однако, встречается редко. Радиорелейная линия организуется всегда как система многоканальной передачи. Здесь применяются два метода уплотнения: частотный и временной. В первом случае каждое отдельное сообщение (канал) модулирует по амплитуде специально для этого предназначенную поднесущую частоту. Если передается n сообщений, то применяется n различных поднесущих частот. В спектре АМ одна боковая полоса частот подавляется, а передается только вторая каждого сообщения. При условии, что полоса частот всех сигналов одинакова и равна F_m, полоса частот группового сигнала равна, без запаса, nF_m. Групповой сигнал модулирует главную несущую частоту ствола. В этой ступени часто применяется ЧМ. Если девиация частоты на один элементарный канал Δf, то вся полоса частот передачи будет равна $2\alpha n\Delta f$. Здесь α учитывает неполную занятость всех каналов одновременно. При большом числе каналов $\alpha\ll 1$. В случае временного уплотнения применяется ИМ, чаще всего фазовая ИМ. Время передачи делится на т. н. тактовые периоды, следующие друг за другом; длительность их одинакова и равна $\frac{1}{2F_m}$. В пределах каждого тактового периода элементарному каналу отводится определенный интервал времени, составляющий $\frac{1}{N}$ часть от всего тактового периода и равный $\frac{1}{2F_mN}$. Полоса частот передачи зависит от длительности импульса, примененного в системе фазовой импульсной модуляции, и равна ориентировочно $\frac{4}{\tau}$, где τ — длительность импульса. В этих условиях один ствол линии дает возможность передать

сообщения только по неск. десяткам элементарных каналов (20—30). Однако если использовать статистику занятости каналов и учесть, что средний уровень сигнала в канале, как правило, существенно ниже максимального, то появляется возможность количество каналов в одном стволе увеличить до 100 и более. При этом применяется интервальная время-импульсная модуляция (см. *Модуляция импульсная*).

Радиолокац. канал обычно представляет собой импульсный радиоканал с полосой частот, соответствующей длительности импульса. В зависимости от назначения радиолокац. станции эта полоса выбирается в пределах от $0{,}5/\tau$ до $4—5/\tau$. Система передачи данных, а также система радиотелеизмерений организуется часто как система многоканальной передачи. Ее полоса частот зависит от характера передаваемых данных, числа элементарных каналов и принятой системы модуляции, аналогично тому, как это имеет место в радиорелейном канале.

Оборудование радиоканала состоит из оборудования передающего пункта, включая радиопередатчик и дополнит. оборудование, и расположенного обычно на значит. расстоянии специфически оборудованного приемного пункта. Канал радиорелейный, кроме оконечных станций, содержит промежуточные пункты, производящие прием и дальнейшую ретрансляцию сигналов. Радиорелейные каналы организуются обычно в диапазоне СВЧ (применяются волны короче 30 *см*), в то время как для радиоканала, в зависимости от его назначения, применяются самые различные диапазоны частот. Так, напр., радиолокац. сигналы передаются на сантиметровых волнах, телевизионные — на УКВ, телеграфные — на КВ, вещательные — на КВ и средних волнах и т. д.

При многоканальной передаче К. р. и р. характеризуются полосой частот, допустимым отношением сигнал/шум, допустимыми частотными, фазовыми и нелинейными искажениями, а также перекрестными искажениями. Если полосы частот каналов радио имеют хотя бы частичное перекрытие, то неизбежны взаимные помехи каналов, вследствие чего перекрытие не допускается. Радиорелейные линии с различными трассами мешающего влияния друг на друга не оказывают, даже если они работают на одних и тех же несущих частотах, благодаря применению пространств. селекции, за исключением случаев, когда трассы пролегают в близком соседстве (почти параллельно).

Лит.: Чистяков Н. И., Сидоров В. М., Мельников В. С., Радиоприемные устройства, 2 изд., М., 1959; Инженерно-технический справочник по электросвязи, кн. 7— Радиорелейные линии, М., 1956; Левин Г. А. [и др.], Повышение эффективности многоканальных систем с временным разделением каналов, «Э», 1960, № 5. *Г. А. Левин.*

КАНАЛ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ (relay protection channel; canal de protection à relais; Kanal für die Steuerung der Schutzrelais, Kanal für die Steuerung der Sicherheitsrelais)—канал для передачи сигналов релейной защиты линий электропередачи (ЛЭП). К. р. з. являются разновидностью *каналов связи* по ЛЭП. Наибольшее распространение получили К. р. з. для передачи блокирующих сигналов, т. е. сигналов, запрещающих отключение линии, когда кз имеет место не на данной линии (внешнее кз). В СССР применяются в основном три типа ВЧ защит: 1) фильтровая направленная, 2) дистанционная с ВЧ блокировкой и 3) дифференциально-фазовая, получившая наибольшее распространение. В первых двух типах защит по ВЧ каналу при внешнем кз передается сплошной сигнал ВЧ блокировки, в дифференциально-фазовой защите по К. р. з. передаются импульсы напряжения ВЧ. Длительность импульсов и пауз примерно одинакова и равна половине периода пром. частоты. При внешнем кз передатчики, расположенные по обоим концам линии, работают в разные полупериоды промышл. частоты. Каждый из приемников принимает сигналы обоих передатчиков. Вследствие этого при внешнем кз оба приемника принимают сплошной блокирующий сигнал. При кз на защищаемой линии происходит сдвиг фаз манипулирующих напряжений и появляются интервалы времени, когда оба передатчика остановлены. При этом в приемнике возникает прерывистый ток, используемый для создания сигнала, действующего на отключение выключателя данного конца защищаемой линии. Обычно передатчики на обоих концах линии работают на одной частоте. Однако на линиях большой протяженности иногда выполняются К. р. з. с передатчиками, работающими на разных ВЧ или на частотах с малым интервалом (1500—1700 *гц*). Работа на двух частотах дает возможность избавиться от вредного влияния сигналов, отраженных от противоположного конца линии.

К. р. з. используют спец. (выделенный) ВЧ канал. Как правило, запуск передатчиков производится только в момент кз, причем передатчики останавливаются после его отключения. К К. р. з. предъявляются исключительно высокие требования надежности. Поэтому приемопередатчики питаются от источника оперативного пост. тока (станционная аккумуляторная батарея). Проводятся опыты по использованию для питания приемопередатчиков защиты источников оперативного перем. тока. Для проверки исправности К. р. з. в практике установлен ежедневный обмен ВЧ сигналами между двумя приемопередатчиками. Обычно этот обмен сигналами производится вручную дежурным персоналом станции или подстанции, однако уже разработаны и в ряде мест успешно эксплуатируются устройства автоматич. проверки исправности К. р. з. С помощью этих устройств передатчики пускаются неск. раз в сутки от механизма синхронных часов, а логич. схема определяет соответствие принятых сигналов по установл. нормам. В СССР выпускаются два типа приемопередатчиков для К. р. з.— ПВЗК для защиты линий 110 и 220 *кв* и ПВЗД для защиты линий 400—500 *кв*. На части линий 400 *кв* К. р. з. оборудованы приемопередатчиками типа ПВЗ-400, произ-во к-рых было прекращено после начала выпуска ПВЗД. Все три типа приемопередатчиков выполнены на электронных лампах и имеют кварцевую стабилизацию частоты передатчика. Основные данные этой аппаратуры приведены в табл. Подготовлен промышл. выпуск устройств релейной защиты, совмещающих в одной конструкции пусковые, логические и ВЧ элементы (за исключением устройств ВЧ обработки), в к-рых все основные операции будут выполняться с помощью ПП-схем без применения электронных ламп и электромеханич. реле.

К категории К. р. з. относятся также каналы телеотключения, служащие для передачи сигналов управления высоковольтными аппаратами (обычно отключение выключателей). Устройства телеотключения могут использоваться для отключения части генераторов на электростанции при перегрузке отдельных линий, для защиты подстанций без выключателя на стороне высшего напряжения и в ряде др. устройств системной автоматики. Для повышения помехозащищенности устройства применяется частотный код. Нормально по каналу непрерывно передается сигнал контрольной частоты. При передаче команды отключения сигнал контрольной частоты снимается и передается сигнал рабочей частоты. Аппаратура телеотключения типа ТО-3 использует для разделения сигналов контрольной и рабочей частот узкополосные камертонные фильтры тональной частоты. Передатчик работает в диапазоне 40—300 *кгц* и имеет кварцевую стабилизацию частоты. Смена частот кода осуществляется сдвигом частоты генератора на 50 *гц*. В приемнике сигналы ВЧ преобразуются в тональные частоты, к-рые расфильтровываются камертонными фильтрами.

Тип приемо-передатчика	Диапазон рабочих частот, *кгц*	Мощность передатчика, *вт*		Перекрываемое затухание, *неп*		Общее количество ламп
		$U_{пит}$ 110 *в*	$U_{пит}$ 220 *в*	$U_{пит}$ 110 *в*	$U_{пит}$ 220 *в*	
ПВЗК	50—300	6—7	20—25	2,3	2,9	10
ПВЗ-400	40—300	—	60—70	—	3,6	22
ПВЗД	40—300	—	30—40	—	3,2	16

Г. В. Микулкий.

КАНАЛ СВЯЗИ высокочастотный (high-frequency communications channel; canal de liaisons à haute fréquence; Hochfrequenz-Nachrichtenkanal)— канал, в к-ром сигналы передаются с помощью токов ВЧ. Диапазон частот зависит от типа линии (см. также *Волновод*). При передаче по воздушным линиям со стальными проводами он составляет от 3 до 25 *кгц*, по воздушным линиям с медными или биметаллич. проводами — от 6 до 157 *кгц*, по симметричным неэкранированным кабелям — от 12 до 550 *кгц*, а по коаксиальным кабелям — от 60 до 8350 *кгц* и выше. Для экономии спектра частот и повышения помехоустойчивости применяется система передачи одной боковой полосы частот. Рабочий диапазон частот подразделяется на отдельные участки шириной 4 *кгц*, из к-рых полоса от 300 до 3400 *гц* используется для передачи речи, сигналов тонального телеграфирования (ТТ) или фототелеграфирования, а полосы 0÷300 *гц* и 3400÷4000 *гц* часто не занимаются, т. к. находятся в области запирания разделит. фильтров отдельных каналов; иногда используется полоса 3400÷4000 *гц* для служебного узкополосного канала.

К. с. по воздушным линиям в диапазоне до 25 *кгц* осуществляют делением рабочей полосы на участки шириной ок. 3 *кгц* с эффективно передаваемым спектром частот 300÷2700 *гц*. Многоканальные системы связи (исключая 3-канальные) рассчитываются на передачу групп каналов, кратных 12 с общей шириной полосы каждого канала 4 *кгц*. Для связи по воздушным линиям применяются группы по 3 и 12 каналов. Связь по симметричным кабелям осуществляется системами на 12, 24, 48, 60 и 120 каналов. В случае передачи по коаксиальным кабелям для аппаратуры на 600, 960, 1860, 1920 и более каналов используются т. н. вторичные 60-канальные группы. Аппаратура К. с. по воздушным линиям построена так, что половина рабочего диапазона частот занимается К. с. в прямом направлении, а вторая половина — в обратном.

Связь по симметричным экранированным кабелям осуществляется преим. по двум кабелям; пары одного кабеля уплотняются каналами в прямом, а другого — в обратном направлениях в одинаковых диапазонах частот. Применяются и однокабельные системы с одной половиной диапазона для прямого направления и второй — для обратного (напр., типа КРР-30/60).

Связь по коаксиальным кабелям в прямом и обратном направлениях осуществляется 2 коаксиальными парами одного или двух кабелей, уплотняемыми с одинаковой полосой частот (переходное затухание между коаксиальными парами кабеля достаточно велико). Дальность для большинства многоканальных систем К. с. составляет неск. тысяч *км* (до 12 500 *км*), а для систем со стальными цепями не превосходит 400 *км*. Расстояния такого порядка перекрываются только с промежуточными усилителями, интервал между к-рыми определяется затуханием линии связи и уровнем помех. Затухание линии увеличивается примерно пропорционально квадратному корню из частоты передачи, составляя, напр., для коаксиальных кабелей обычной конструкции $\beta=0{,}285\sqrt{f}$ *неп/км*, где β — километрич. затухание, f — частота в *Мгц*. Для др. линий затухание характеризуется в табл. 1.

Таблица 1

Цепи	Диаметр жилы (*мм*)	Частота (*кгц*)	Затухание (*неп/км*)
Воздушные стальные *	4	3—30	0,038—0,16
Воздушные медные *	4	5—150	0,0038—0,027
Экранированные кордельные кабели	1,4	10—150	0,095—0,36

* В сырую погоду.

Соответственно, длины усилит. участков (между соседними усилителями) изменяются от 250 до 6 *км*. Затухание воздушных цепей в большей степени зависит от атм. условий, кабельных — от изменения темп-ры грунта. Изменяются со временем и коэфф. усиления промежуточных усилителей. Поэтому уровень сигнала на выходе приемника поддерживается устройствами автоматич. регулировки уровня.

Основные технические требования к телефонным каналам многоканальных К. с. определяются Международным консультативным комитетом по телефонии и телеграфии (МККТТ). Согласно рекомендациям МККТТ, для всех систем связи, имеющих группы из 12 каналов или более крупные, эффективно передаваемый спектр частот должен составлять 300—3400 *гц*. Остаточное затухание на частотах 600—2400 *гц* не должно отличаться от затухания на частоте 800 *гц* (0,8 *неп*) более чем на ±0,25, на частотах 400—600 и 2400—3000 *гц* — более чем на —0,5 или +0,25 *неп*, на частотах 300÷400 и 3000÷3400 *гц*—более чем на —1 или +0,25 *неп*. Макс. расхождение частот сигналов в начале и конце цепи не должно превышать ± 2 *гц*. Псофометрическое (измеренное прибором, имеющим частотную хар-ку системы телефон — ухо) напряжение шума на выходе телефонного канала не должно превышать 1 *мв* в точке с относит. уровнем —0,8 *неп* для аппаратуры, работающей по симметричным кабелям, и 1,4 *мв* — для аппаратуры, работающей по воздушным цепям. В табл. 2 приведены примерные данные об аппаратуре К. с., применяемой в СССР.

Лит.: Сборник материалов для электрических расчетов каналов кабельных и воздушных линий связи, М., 1960; Рекомендации международных консультативных комитетов по телефонии и телеграфии, М., 1959; Амарантов В. Н. и Старицын Г. В., Трехканальная аппаратура высокочастотного телефонирования типа В-3, М., 1950; Новая аппаратура проводной связи. Информ. сборник, М., 1957; 12-канальная система высокочастотного телефонирования по кабельным линиям связи (типа К-12), М., 1954; 12-канальная система высокочастотного телефонирования по воздушным линиям связи (типа В-12), М., 1952; Аппаратура уплотнения симметричных кабелей (типа К-24), М., 1954; Буйнов А. В., Характеристики телефонных каналов и качество передачи, М., 1959; Лещинский А. А., Высокочастотная телефонная связь по коаксиальному кабелю, М., 1955; Системы высокочастотного телефонирования по междугородным кабельным линиям. (Информ. сборник), М., 1958; Многоканальная аппаратура высокочастотного телефонирования по воздушным и кабельным линиям связи, М., 1959. *В. Б. Соколов.*

КАНАЛ СВЯЗИ по линиям электропередачи (communications channel along electric power transmission lines; canal de liaisons le long des lignes de transmission d'énergie électrique; Nachrichtenkanal über Hochspannungsleitungen) — канал, используемый для передачи сигналов в диапазоне 30—500 *кгц*. В кабельных сетях применяются и более низкие частоты вплоть до тональных (см. *Канал связи* по распределительным сетям энергоснабжения), а на коротких воздушных линиях электропередачи (ЛЭП) — более высокие, до 1000 *кгц*.

Таблица 2

Наименование аппаратуры	В-3—2	В-12—2(В-12)	К-12	К-1920
Тип линии	Воздушные цепи, медные или биметаллич.	Воздушные цепи, медные или биметаллич.	Симметричный кабель звездной скрутки МКБ	2 пары коаксиального кабеля
Количество образуемых каналов	4	12	12	1920 или 300 + канал телевидения
Система связи	Электрически — 4-проводная, физически — 2-проводная	Электрически — 4-проводная, физически — 2-проводная	2-кабельная	1-кабельная
Линейный спектр частот (*кгц*) *	Направление АБ: 0,3—2,4; 6—15, БА: 3,1—5,2; 18—27	Направление АБ: 36—84, БА: 92—143 (осн. вариант)	12÷60	270÷8600
Макс. дальность (*км*)	10 000	10 000	12 500	12 500
Макс. длина усилит. участка (*км*)	250	136÷45 в зависимости от условий	58	6,3
Система автоматич. регулировки уровня	Термоэлектромеханич. 2-частотная	Электромеханич. 2-частотная	Электрич. 2-частотная	Электротермич. и электрич. многочастотная
Эффективно передаваемый спектр частот (*гц*)	300÷2700	300÷3400	300÷3400	300÷3400
Количество телефонных каналов, используемых одновременно для вторичного уплотнения	1	2 для работы ТТ	4 для работы ТТ	Предусматривается работа ТТ и канал звукового сопровождения телевидения

* Уплотнение воздушных двухпроводных цепей осуществляется так, что часть рабочего диапазона не занимается для передачи сигналов в одном направлении, напр. АБ, а используется для передачи в противоположном направлении — БА.

Используются различные схемы включения аппаратуры К. с. Наряду со схемой фаза — земля (рис. 1), встречающейся наиболее часто благодаря своей экономичности, применяются схемы: фаза — фаза, фаза — две фазы, две фазы — земля, три фазы — земля, фаза — фаза разных линий. ВЧ заградитель, конденсатор связи и фильтр присоединения, исполь-

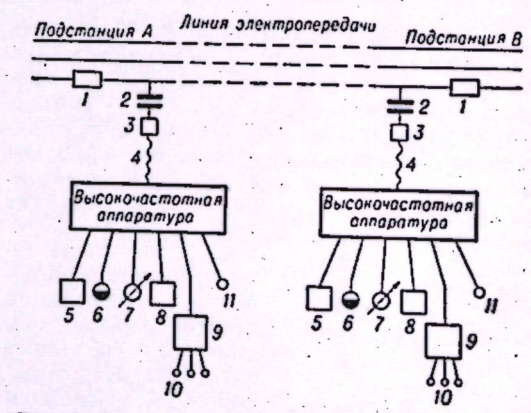


Рис. 1. Структурная схема простого канала связи по линии электропередачи между двумя смежными подстанциями: *1* — ВЧ заградитель; *2* — конденсатор связи; *3* — фильтр присоединения; *4* — ВЧ кабель; *5* — устройство ТУ—ТС; *6* — датчики телеизмерений; *7* — приемники телеизмерений; *8* — устройства релейной защиты или (и) телеавтоматики; *9* — АТС; *10* — абонент АТС; *11* — прямые абоненты.

зуемые в этих схемах, являются оборудованием обработки ЛЭП для организации по их проводам ВЧ каналов связи. Обработка линий нужна для получения стабильного канала связи. Затухание ВЧ канала по обработанным ЛЭП почти не зависит от схемы коммутации линий. В случае отсутствия обработки связь будет прерываться при отключении или заземлении концов ЛЭП.

Распространение ВЧ по ЛЭП осуществляется неск. путями с различными постоянными передачи. Число путей равно числу проводов, т. е. на одноцепных трехфазных ЛЭП равно трем, на двухцепных ЛЭП — шести и т. п. Однако для практич. целей вполне достаточно рассмотрение пути нулевой последовательности и междуфазного пути. На ЛЭП с медными или сталеалюминиевыми проводами постоянная затухания пути нулевой последовательности в десять и более раз превышает постоянную затухания междуфазного пути ($\beta_ф$) и поэтому передача сигналов осуществляется междуфазной волной. Величина $\beta_ф$ составляет ок. 10 *мнеп/км* для 100 *кгц* и растет с частотой пропорционально $\sqrt{f}$. Волновое сопротивление пути нулевой последовательности составляет 600—700 *ом*, а междуфазного пути — ок. 400 *ом* (на фазу). К. с. характеризуются высоким уровнем помех, создаваемых коронированием проводов линии. Уровень помех зависит от градиента потенциала на проводах, условий погоды и других факторов. Средний расчетный уровень помех в полосе 5 *кгц* (P_s) принят равным —4,5 *неп* на ЛЭП 35 *кв*; —3,5 *неп* на ЛЭП 110 *кв*; —2,5 *неп* на ЛЭП 220 *кв* и 400 *кв*; —1,5 *неп* на ЛЭП 500 *кв*. Уровень помех в полосе Δf определяется по ф-ле:

$$P_{\Delta f} = P_s - \frac{1}{2} \ln \frac{5}{\Delta f}.$$

Одной из важнейших проблем связи по линиям электропередачи является нехватка частот, обусловленная малым переходным затуханием между линиями, имеющими кондуктивное соединение через шины подстанций. Переходное затухание между обработанными линиями (рис. 2)

$$b_{пер} = \frac{1}{2} \ln \left| \frac{P_1}{P_2} \right| = \ln \left| 1 + \frac{2Z_э}{Z_л} + \frac{Z_э}{Z_0} + \frac{Z_э^2}{Z_л Z_0} \right|,$$

где P_1 — мощность передатчика; P_2 — мощность в нагрузке на др. линии; $Z_л$ — входное сопротивление линии (400—450 *ом*); $Z_э$ — импеданс заградителя; $Z_0 = 1/j\omega C_0$; C_0 — эквивалентная емкость шин подстанции относительно земли. В зависимости от качества обработки и размеров подстанции $b_{пер}$ составляет от 2 до 4,5 *неп*. Переходное затухание между передатчиком одного и приемником другого канала должно быть не менее 8—9 *неп*. Недостающие 7—3,5 *неп* должны быть обеспечены фильтрами приемника, что требует разноса частот между смежными аппаратами на 10—15%. Увеличение переходного затухания может быть достигнуто путем повышения импеданса ВЧ заградителей. В нек-рых случаях

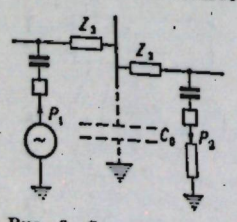


Рис. 2. Схема к расчету переходного затухания между линиями.

применяется включение спец. конденсаторов на шины подстанции для повышения величины C_0. Существ. значение для лучшего использования диапазона частот имеет повышение крутизны фильтров аппаратуры путем применения электромеханич. или активных элементов. Одним из перспективных направлений развития техники связи по ЛЭП является также применение узкополосных систем телефонии и телемеханики.

Вследствие огранич. диапазона частот аппаратура К. с. выполняется с передачей одной боковой полосы частот (ОБП) для телефонной связи или ЧМ—ОБП для каналов телемеханики. Нормой превышения уровня сигнала над уровнем помех является в первом случае 3 *неп*, а во втором — 1,8 *неп*. Уровни передачи на линиях 35 *кв* — 220 *кв* выбираются ок. +4,6 *неп* (10 *вт*), а на линиях 500 *кв* большой протяженности и сильно коронирующих +5,75 *неп* (100 *вт*). Допустимое затухание между смежными пунктами связи по ЛЭП составляет 5—6 *неп*, что соответствует расстояниям в неск. сот *км*. При бо́льших расстояниях и сложных каналах (рис. 3) применяются промежуточные усилители.

К. с. широко используются в энергосистемах для организации диспетчерской и служебной телефонной связи, передачи сигналов телеуправления, телесигнализации, телеизмерения, телерегулирования и релейной защиты.

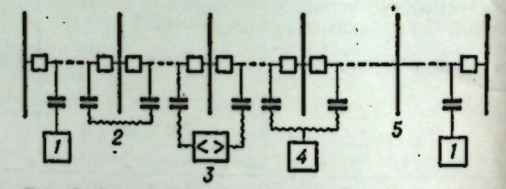


Рис. 3. Схема сложного канала связи по ЛЭП: *1* — оконечная аппаратура; *2* — обходное устройство; *3* — промежуточный усилитель; *4* — промежуточный пост; *5* — необработанная промежуточная подстанция.

Они применяются также для связи с передвижными ремонтными бригадами. Выпускаемые для этой цели передвижные и переносные монтерские посты небольшого веса и габаритов питаются от портативных аккумуляторных батарей 12 *в* или от сухих элементов. Для связи передвижных постов с проводами ЛЭП служат обычно антенны — отрезки провода, подвешенного под линией, или участки грозозащитного троса. Переходное затухание антенна — провода ЛЭП зависит от расстояния между ними и длины антенны. Наивыгоднейшей является антенна длиной около четверти длины волны. При такой длине и расстоянии 5—6 *м* переходное затухание составляет 1—1,5 *неп*, что обеспечивает возможность осуществления связи на 150—200 *км* при мощности передатчика ок. 0,5 *вт*.

Применяется след. ВЧ аппаратура, подключаемая к обработанной ЛЭП: а) комбинированная аппаратура для каналов телемеханики, автоматики, релейной защиты и телефонной связи; б) специализированная аппаратура для к.-л. одной из перечисл. ф-ций; в) аппаратура дальней связи, подключаемая к ЛЭП через устройство присоединения непосредственно или с помощью дополнит. блоков для сдвига частот и повышения уровня передачи; г) аппаратура импульсного контроля линий. В табл. 1 приведены данные неск. типов аппаратуры К. с., в табл. 2 — хар-ки оборудования присоединения и обработки.

Таблица 1

Тип	Система передачи: телефона	Система передачи: телемеханики	Полоса (*кгц*)	Перекрываемое затухание по ЛЭП 110 *кв* (*неп*)	Число каналов: телефонных	Число каналов: телемеханических
ЭПО-3 ЭПУ-3 ЭПО3-400	ОБП	ЧМ-ОБП	3,1	5	1	4
ЭПУ3-400	ОБП	ЧМ-ОБП	3,1	6,15	1	4
КП-60	ОБП	АМ-ОБП	5	4	1—2	7—0
ВП-63	ОБП	ЧМ-ОБП	5	4	2	4
ТМВД/П ТМТП	—	ЧМ-ОБП	1	6,5	—	6

Таблица 2

Наименование	Тип	Электрич. данные
ВЧ заградитель	КЗ-500	0,124 *мгн*; 630 *а*
» »	КЗ-2000/400	2,0 *мгн*; 2000 *а*
» »	КЗ-1000-0.6Л	0,6 *мгн*; 1000 *а*
» »	РЗ-58	1,0 *мгн*; 100 *а*
Конденсатор связи	СМР-55/$\sqrt{3}$	4400 *пф*; 32 *кв*
То же	СМР-133/$\sqrt{3}$	18600 *пф*; 77 *кв*
» »	ОМ1-15—0,107	107000 *пф*; 15 *к*
Фильтр присоединения	ОФП-4	49—120 *кгц*, 75—200 *кгц* и 125—300 *кгц*; 1100 и 2200 *пф*
То же	ФП-500	40—200 *кгц*, 120—600 *кгц*; 4500—6200 *пф*

Лит.: Быховский Я. Л., Высокочастотная связь по линиям электропередач, М.— Л., 1943; его же, Инструкция по измерениям и расчету высокочастотных параметров линий электропередач, М.— Л., 1953; Каналы связи энергетических систем и помехи телефонированию. Докл. Международной конференции по электрическим системам (CIGRE), 1958, М — Л., 1959; Костенко М. В., Сидельников В. В. и Орлов В. Н., Параметры каналов высокочастотной связи по воздушным и кабельным линиям электропередачи, в кн.: Сб. работ по вопросам электромеханики, вып. 5, М.— Л., 1961; Микуцкий Г. В., Высокочастотные каналы релейной защиты, М.— Л., 1959. *Я. Л. Быховский.*

КАНАЛ СВЯЗИ по распределительным сетям энергоснабжения (communications channel along electric power distribution networks; canal de liaisons le long des réseaux de distribution d'énergie électrique; Nachrichtenkanal über Energieverteilungsnetze). Использование распределит. сетей энергоснабжения (РСЭ) перем. и пост. тока для передачи информации во мн. случаях дает экономию средств, т. к. исключает необходимость прокладки спец. линий связи. Осн. трудности передачи информации по РСЭ связаны с необходимостью иметь спец. аппаратуру подключения, а во мн. случаях и аппаратуру ВЧ обработки. Работы по передаче информации по РСЭ, напряжением 10 *кв* и ниже, развивались в 2 направлениях: первое связано с передачей дискретных телемеханич. сигналов в диапазоне 175—3000 *гц*, второе характеризуется использованием ВЧ диапазона (св. 15 *кгц*) для телефонной связи и телемеханики.

НЧ направление развивалось применительно к передаче [illegible] в основном по низковольтным [illegible] сетям перем. тока. Подобные системы используются для управления уличным освещением, передачи сигналов пожарной тревоги, переключения тарифов счетчиков и т. п. Для этих систем характерна передача сигналов только в одном направлении — из центр. пункта управления к объекту. Команды передаются импульсами длительностью порядка 1 сек., заполненными одной из частот тонального диапазона. Разделение команд производится по частоте заполнения и по их временны́м признакам, напр. длительности или положению. Частотный диапазон ограничен сверху протяженностью линий (отсутствие ответвлений равных или больших четверти длины волны). Для частоты 3000 *гц* максим. протяженность ответвлений составляет 25 *км*. Снизу частотный диапазон ограничен мешающим действием гармоних. составляющих напряжения сети, из которых особенно велики 3-я и 5-я. Используется расположение частот в промежутках между гармоних. составляющими. Особенностью К. с. по РСЭ в НЧ диапазоне являются малое затухание (меньше 2 *неп*), высокий уровень помех и низкое входное сопротивление. Входное сопротивление сети в области НЧ составляет доли ома и тем меньше, чем больше общая мощность сети. Исследования параметров сети позволяют выбрать оптим. диапазон частот для линий с различными нагрузками. При активно-моторной нагрузке оптим. диапазон для воздушной линии — 700—1500 *гц*. Кабельные линии позволяют работать в диапазоне 200—2000 *гц*. Наличие в сети необработанных фазодвигающих конденсаторов сильно сужает рабочий диапазон частот, увеличивая затухание на ВЧ. Оптим. частота при наличии необработанных конденсаторов лежит в диапазоне 200 *гц*. Для надежной передачи сигналов по К. с. по РСЭ необходимы большие мощности и длительности сигналов, а также узкополосная фильтрация и интегрирование на приемной стороне. Передача осуществляется электромашинными генераторами мощностью 0,04—0,2% от мощности сети. Для сетей с мощностью более 2,5 *Мвт* мощность передатчика превышает 1 *квт*. Протяженность линий доходит до сотни *км*. Напряжение сигнала в точке передачи 4—5 *в*, в точке приема ≈ 1 *в*. Применяются последовательное (преимущественно на НЧ) и паралл. (преимущественно на ВЧ) 3-фазное подключение электромашинных генераторов. Последоват. подключение выгоднее ввиду меньшего проникновения сигналов в высоковольтные цепи. Имеются попытки использовать в передающих устройствах мощные газоразрядные лампы, шунтирующие сеть со звуковой частотой. Высокий уровень сигнала в точке приема существенно упрощает приемную аппаратуру, обычно состоящую из *избирателя частотного* электромеханич. или электрич. типа, *реле* и электромеханич. *переключающего устройства*.

Использование ВЧ диапазона для организации К. с. по РСЭ дает более широкие возможности для осуществления 2-сторонней связи и передачи телемеханической и телефонной информации, что объясняется меньшими мощностями передающих устройств, при к-рых

Центральная научная библиотека Академии наук Киргизской ССР
230110

можно осуществить надежную передачу информации, и бо́льшим частотным диапазоном. Эти возможности значительно расширяют области применения К. с. по РСЭ. Особенно перспективно их использование в сельской местности, на нефтепромыслах и крупных пром. предприятиях. ВЧ направление получило развитие первоначально на линиях электропередач с напряжением 35 *кв* и выше (см. *Канал связи по линиям электропередачи*). РСЭ с переменным напряжением 6—10 *кв* и ниже используются значительно реже из-за большой их разветвленности и большого числа нагрузок и неоднородностей. Последнее затрудняет ВЧ обработку линий. Исследование параметров каналов по таким сетям без их обработки показало,

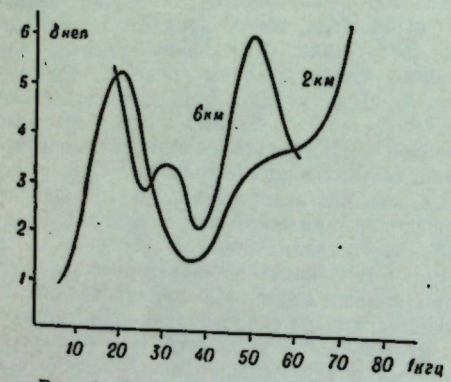


Рис. 1. Зависимость затухания (δ) от частоты (*f*) для двух участков сети 6 *кв*.

что они обладают значительным и очень неравномерным по частоте затуханием. Затухание имеет общую тенденцию роста с частотой, однако резонансные явления в линии приводят к подъемам и спадам на отдельных частотах. Форма частотной хар-ки канала зависит от конфигурации линии и нагрузок. На рис. 1 дается зависимость затухания от частоты для 2 участков сети 6 *кв* длиной 2 и 6 *км*. В линиях со стальными проводами затухание больше, но неравномерности выражены менее ярко. РСЭ с напряжением 380 *в* обладают также неравномерным по частоте затуханием, но это проявляется в области более ВЧ, что объясняется меньшей протяженностью. На рис. 2 приведена зависимость затухания от частоты для участка сети 380 *в*. Иногда представляет интерес использование в качестве К. с. комбинированных. линий, состоящих из распределит. сети 6 *кв*, силовых тр-ров 6/0,4 *кв* и питающей сети 0,4 *кв*. Суммарное затухание таких комбинированных. линий может достигать в диапазоне частот 20—70 *кгц* 6—8 *неп*. Силовые тр-ры вносят затухание 1,5—2,5 *неп*. Входное сопротивление необработанных линий также изменяется с частотой.

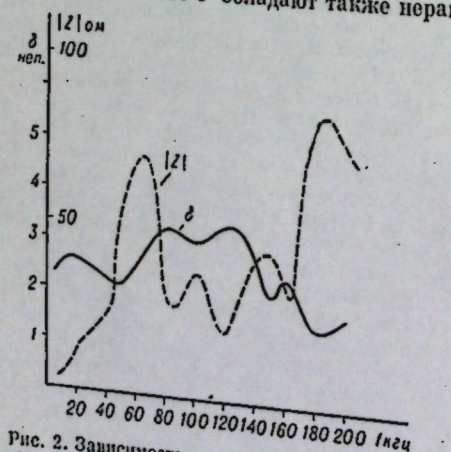


Рис. 2. Зависимость затухания (δ) и входного сопротивления (Z) от частоты (*f*) сети 380 *в*.

Помехи на ВЧ значительно меньше, чем на НЧ, но все же сравнительно велики. В низковольтных сетях они происходят в основном за счет коммутации, а также вследствие разрядов на изоляторах и от атм. явлений. Несмотря на сравнительно низкое качество К. с. по необработанным РСЭ, иногда возможно их использование. Оптим. частотный диапазон (15—50; 30—60 *кгц*) для передачи сигналов, характеризуемый миним. мощностью передатчика, необходимой для обеспечения определ. соотношения сигнала и помехи в точке приема, зависит от конфигурации линии, размеров ответвлений и нагрузок. Неравномерность частотной зависимости затухания является серьезным препятствием при использовании необработанных РСЭ для телефонной связи, т. к. приводит к недопустимым искажениям сигналов. Наилучшие результаты получаются при использовании 1-полосной АМ, однако и в этом случае трудно обеспечить высокое качество воспроизведения речи, что ограничивает применение К. с. по необработанным силовым сетям. Расширение применения К. с. по РСЭ достигается их ВЧ обработкой и применением спец. узкополосных способов передачи. Телемеханич. сигналы могут занимать в канале более узкую полосу частот, чем телефонные сигналы. Вследствие этого передача только телемеханич. информации по РСЭ встречает меньше трудностей и в большинстве случаев может быть осуществлена по необработанным линиям. Применение ВЧ диапазона специально для целей телемеханики в нек-рых случаях позволяет использовать весьма простые схемные решения. Известна система телесигнализации для рассредоточенных объектов в сельских сетях напряжением 8,7 *кв*, в к-рой контроль осуществляется и с помощью сигнала одной несущей частоты в диапазоне 50—150 *кгц*, излучаемой с диспетчерского пункта. В месте контроля включен последовательно резонансный контур, индуктивность к-рого при передаче сигнала изменяется со звуковой частотой, присущей данному объекту. Последоват. контур, шунтируя линию, вызывает АМ несущей, к-рая воспринимается приемником диспетчерского пункта. В диапазоне 200—1000 *гц* расположены 50 поднесущих. Мощность передатчика 25 *вт*. Аппаратура в месте контроля состоит из *RC*-генератора на триоде и диодного модулятора. Из др. применений известна система управления оросит. насосной станцией, передающей сигналы по кабельной сети напряжением 4 *кв*, общей протяженностью 10 *км*. Частота передатчика 45 *кгц*, мощность 15 *вт*. Обеспечивается надежная работа при затухании в 3,5 *неп*. Имеется 1 телефонный канал. Передаются 2 телеуправления, 7 телесигнализаций и 1 теленамерение. Аппаратура телемеханики контактная, передатчики и приемник выполнены на лампах. Разрабатывается ряд бесконтактных систем телемеханики для энергосистем, нефтепромыслов, шахт и др. пром. объектов, предназначенных для работы по

низковольтным силовым сетям. Для управления рассосредоточенными объектами представляет интерес частотно-временная система ТУ-ТС-ТИ со спорадич. передачей информации, работающая в диапазоне 30÷100 *кгц* по сети 6/0,4 *кв*. Используется ЧМ несущей и узкополосная передача на поднесущих. Перекрываемое затухание 9—10 *неп* при мощности передатчика в неск. *вт*.

Контактные сети пост. тока также применяются в качестве К. с. Затухание таких К. с. без обработки обладает частотной неравномерностью вследствие несогласованности ответвлений и шунтирующего действия нагрузок. В большинстве случаев осуществляется обработка концов ответвлений и моторов подвижных объектов. Затухание обработанных контактных сетей невелико. Так, в шахтах при расстояниях до 10 *км* оно не превышает 2 *неп*. Характер помех в контактных сетях аналогичен помехам в РСЭ, за исключением специфич. помех от ртутных выпрямителей. Контактные сети в основном используются для телефонной связи с водителями транспорта. На шахтах эксплуатируется ряд установок диспетчерской связи, работающих в диапазоне 30—120 *кгц* при мощности передатчиков 8—20 *вт*. В нек-рых случаях та же аппаратура применяется и для ТС. Из телемеханич. систем, работающих по контактной сети, можно указать систему управления кранами, в к-рой по троллею передается 13 команд на 1 несущей с помощью частотной манипуляции и временного разделения. По 1 сети можно одновременно управлять 10 кранами. В существующей системе управления слитковозом с клещевого крана сигналы передаются на 3 несущих частотах путем амплитудной манипуляции. При использовании контактной сети, низковольтной РСЭ наблюдается интерес к созданию аппаратуры для передачи только телемеханич. информации. Это связано с ростом автоматизации производств. процессов, а также с тем, что во многих случаях аппаратура при этом получается значительно проще, чем в случае комбинированных каналов связи и телемеханики.

Лит.: Венчковский Л. Б., Исследование помех в силовой сети [нефтепромысла] напряжением 0,4/6 кв, «А и Т», 1960, т. 21, № 8; Венчковский Л. Б., Шастова Г. А., Исследование параметров каналов телемеханики и связи по силовым сетям нефтепромысла 0,4/6 кв., веб.: Использование силовых сетей для высокочастотной связи, М.— Л., 1961; Визенталь И. Б., Диспетчерская высокочастотная связь на горнорудных предприятиях, «ГЖ», 1959, № 3; Ильин А. А., Разветвленные силовые сети как каналы связи для телемеханики, М.— Л., 1961; [Петров В. М. и Петров С. М.], Новый метод использования линий электропередачи сильного тока как канала связи и телемеханики, в кн.: [А. И. Краснобрыжев], Внедрение канала телеметрии в надтональном спектре частот, М., 1956; Скороход Б. А., Аппаратура телеуправления с передачей командных сигналов по силовым линиям, «Пром. энерг.», 1959, № 11; Смирнов Б. В., Служебная связь по сельским высоковольтным сетям, М., 1957; Циркулярное телеуправление на тональных частотах в распределительных сетях, М., 1961; Cahen F., Prigent H., Le nouveau système de télécommande centralisée à 175 hertz adopté par électricité de France, «Rev. gén. électr.», 1955, t. 64, № 10; Derr W. A., Keller W. H., Hedke H. A. W., Carrier supervisory control of pumping station over power cable, «Electr. Engng», 1946, v. 65, № 11; Kitten H., Zur Frage der Bestimmung einer optimalen Frequenz für Tonfrequenzrundsteueranlagen, «Elektrotechnik und Maschinenbau», 1958, H. 15/16, 17, 19; Podolsky L., Lubin S., Carrier current supervisory system for distribution circutts «Trans. Amer. Inst. Electr. Engrs. Part I», 1951, v. 70.

Г. А. Шастова.

КАНАЛ СВЯЗИ ОПТИЧЕСКИЙ (optical communications channel; canal de liaisons optiques; optischer Nachrichtenkanal) — канал, использующий электромагнитное излучение оптич. диапазона. К. с. о. практически не применялись из-за отсутствия когерентных источников света. Создание когерентных квантовых генераторов света позволяет широко использовать светов и интервал частот для нужд связи. Емкость К. с. о. значительно превышает емкость радиочастотных каналов. Так, на частоте 10^{14} *гц* можно передавать неск. тысяч телевиз. программ. Малая длина световой волны дает возможность создавать квантовые источники света, направленность луча к-рых менее 1′, что в сотни и тысячи раз превосходит направленность лучших радиоантенн и прожекторов. Это позволяет осуществлять связь при мощности передатчика в 10 *квт* и угле направленности луча света в 1′ на расстоянии неск. световых лет.

Представляет интерес передача света по непрямолинейному пути с небольшими потерями, подобно тому, как это осуществляется в диапазоне радиоволн с помощью волноводов. Однако последние для оптич. диапазона непригодны, т. к. внутр. полость волновода должна быть сонзмерима с длинами воли света. Более подходящими оказываются светопроводы в виде тонких нитей с большой диэлектрич. проницаемостью вещества, вдоль к-рых распространяется электромагнитная волна в результате эффекта полного внутреннего отражения. Теория распространения электромагнитных волн в подобных диэлектрич. светопроводах хорошо разработана в связи с применением диэлектрич. стержней в радиотехнике. Применение таких нитей весьма перспективно не только для пассивных светопроводов. Изготовляя монокристаллич. нити из вещества, пригодного для построения квантовых генераторов, и возбуждая эту нить, можно передавать световую энергию вдоль нити, одновременно усиливая ее. Однако получение светопроводов в виде монокристаллич. нитей, диаметром 1 *мк* оптически однородных по длине, представляет большую трудность.

Развитие К. с. о. имеет большие перспективы. Одновременно с созданием оптических генераторов предстоит решить задачу модулирования их излучений с тем, чтобы иметь возможность с помощью когерентного светового луча высокой монохроматичности передавать информацию. Поэтому создание К. с. о. следует рассматривать как весьма важную, но еще до конца не решенную проблему. См. также *Лазер*, *Оптика волоконная*.

Лит.: Вайнштейн Л. А., Электромагнитные волны, М., 1957; Фабрикант В. А., Луч идет в космос, М., 1961.

А. Н. Орлевский.

КАНАЛ ТЕЛЕМЕХАНИЧЕСКИЙ (remote — control channel; canal de télécommande; Fernsteuerungskanal). Системы телемеханики обычно разделяются на телемеханич. устройства (передатчик, приемник) и на К. т. (генераторы несущих частот, модуляторы и демодуляторы линии и фильтры). Это деление условно. Напр., в циклич. системах ТИ распределители могут рассматриваться как часть аппаратуры ТИ или как часть К. т.

К. т. делятся на проводные (воздушные и кабельные линии связи) с использованием сигналов пост. тока или тональных час-

тот, высокочастотные по линиям связи или по линиям электропередачи, радио (в т. ч. миллиметровые, субмиллиметровые, инфракрасные и световые излучения и акустические каналы). Применяются К. т. симплексные (ТИ, телеотключение и др.) и дуплексные (ТУ—ТС, релейная защита и др.), одноканальные и многоканальные (с частотным или временным разделением) с непрерывной посылкой сигналов или используемые время от времени.

Важной хар-кой К. т. являются полоса пропускания и скорость передачи сигналов в бодах или скорость передачи информации в двоичных единицах в секунду. Различают К. т. весьма узкополосные, с полосой единицы и даже доли *гц* (обычно в таких каналах применяются электромеханич. фильтры), узкополосные или К. т. телеграфного типа с полосой 80—140 *гц* и широкополосные — 300—3000 *гц* и более. При АМ полоса пропускания канала Δf в *гц* связана со скоростью передачи зависимостью: $\Delta f = 1{,}25\ v$, а при ЧМ $\Delta f = 3\ v$, где v — скорость передачи в бодах.

Нормы превышения уровня сигнала в К. т. над уровнем помех см. *Канал связи* высокочастотный и *Канал связи* по линиям электропередачи.

В СССР широко применяется аппаратура К. т. типа ТМТП, рассчитанная на 16 К. т., образуемых в телефонном канале с полосой 370—3220 *гц*. Передача осуществляется путем ЧМ несущих частот $f_n = 450 + 180\ (n-1)$, где n — номер канала. Полоса пропускания каждого канала 140 *гц*. Макс. скорость передачи 50 *бод*. Уровень передачи на 1 канал может регулироваться в пределах от —2 до +1 *неп*. Уровень приема — 5 *неп*. Перекрываемое затухание между полукомплектами ТМТП — около 5 *неп*. Возможна контактная и бесконтактная манипуляция передатчика. Выход приемника рассчитан как на контактные, так и на бесконтактные системы. Аппаратурой ТМТП можно уплотнять ВЧ и радио-телефонные каналы самых разнообразных систем.

Лит.: Звенигородский И. С., Каналы связи для телемеханики, М.— Л., 1960; Купершмидт Я. А., Малов В. С., Пшеничников А. М., Современные телеизмерительные системы, М.— Л., 1961; Ильин В. А., Системы телемеханики для рассредоточенных объектов, М.— Л., 1960; Быховский Я. Л., [и др.], Новые работы по высокочастотным каналам телемеханики, «АиТ», 1961, т. 22, № 2.

Я. Л. Быховский.

КАРБИД КРЕМНИЯ (карборунд) (Silicium carbide; carbure de silicium; Siliziumkarbid) — ПП соединение кремния с углеродом (SiC), являющееся основой нелинейных сопротивлений и приборов с высокой рабочей темп-рой. Впервые был синтезирован амер. химиком Е. Ачесоном в 1891. В природе обнаружен только в метеоритах. Имеется 2 модификации К. к.: кубическая (β—SiC) и гексагон. (α—SiC). Чистый β—SiC имеет желтый цвет, α—SiC бесцветен. Примесь N придает α—SiC зеленый цвет, Al — от синего до черного. N, Sb и P-донорные, а Al и B акцепторные примеси. Энергия активации N 0,06—0,08 *эв*, Al и B 0,275 *эв*. Достаточно чистые монокристаллы α—SiC для применения в ПП приборах получают кристаллизацией из газовой фазы при 2100—2600° в виде гексагон. пластинок с развитой базовой плоскостью. Монокристаллы β—SiC получают при разложении CH_3SiCl_3 или смеси $SiCl_4$ и C_nH_n в токе H_2 на подложке, нагретой до 1600—1900° и выращиванием из раствора C в Si при 1600—1800°. *p—n*-Переходы получают в процессе роста из газовой фазы введением паров примесных элементов, вплавлением и диффузией Al. Для получения сплавных *p—n*-переходов и омич. контактов используют сплавы Si—Al, Si—B и Si—P (темп-ра вплавления 1600—1800°). Хорошие результаты дает сплав Pt—Sn—B и Pt—Sn—P (при 1800—2000°). Омич. контакты получают также вплавлением W (при 1800—2100°) электролитически — нанесением Pd и термокомпрессией. К. к. химически очень стоек. Заметное окисление начинается с 900°. Травление, напр., проводится в расплавах нек-рых солей и щелочей (KOH при ~500°, бура при 800—900°). Применимо электролитич. травление.

Нек-рые хар-ки карбида кремния

Модификация	Хар-ка	Единицы измерения	Величина
β—SiC	Постоянная решетки	Å	4,3596
6-слойный политип α—SiC	» »	Å	3,0806
α—SiC	Ширина запрещ. зоны (термическая) при —273°	*эв*	3,1
β—SiC	То же	*эв*	1,9
α—SiC	Подвижность электронов при 27° . .	$см^2/в \cdot сек$	100—150
β—SiC	То же	$см^2/в \cdot сек$	32
α—SiC	Подвижность дырок (для образцов с примесным рассеиванием)	$см^2/в \cdot сек$	10—25
α—SiC, β—SiC	Диэлектрич. постоянная	—	10,0
» »	Коэфф. преломления	—	2,6

На основе К. к. разработаны *диоды*, *варикапы* и *транзисторы униполярные*. Приборы из К. к. могут работать до ~1000° и малочувствительны к ядерным излучениям. К. к. также используется в качестве абразива (твердость по Моосу 9,5—9,75), огнеупора, материала для нагревателей и нелинейных сопротивлений.

Г. Ф. Лымарь.

КАРМАТРОН (reverse-wave magnetron instrument; appareil magnétron à onde inverse; Karmatron, Rückwärtswellenröhre) — *магнетронного типа прибор*, работающий по принципу *лампы обратной волны*. По конструкции и принципу действия сходен с *платинотроном*, но не имеет устройства для ввода энергии. На одном конце замедляющая линия нагружена на согласованный поглотитель, к-рый обычно размещается внутри лампы. Взаимодействие происходит на обратной волне. К. используется только в режиме самовозбуждения. Параметры сходны с параметрами многокамерного *магнетрона*, но К. позволяет осуществить электронную настройку частоты (без мех. устройств — только путем изменения анодного напряжения) в полосе порядка 5% средней частоты. Может применяться в передатчиках с быстрой перестройкой частоты и с ЧМ.

Е. Д. Науменко.

КАРЦИНОТРОН [ultra-high frequency (UHF) wave generator; générateur d'ondes à très haute fréquence; Karcinotron, Ultrahöchstfrequenz-Generatorröhre] — электровакуумный прибор для генерирования колебаний СВЧ типа *лампы обратной волны*, у к-рого фокусировка электронного потока осуществляется во взаимноперпендикулярных постоянных магнитном и электрич. полях, а замедляющая система свернута в незамкнутое кольцо. Электронный поток создается пушкой, расположенной у выхода лампы. Кпд К. выше, чем у лампы обратной волны с продольным фокусирующим магнитным полем и достигает 50% в диапазоне 10 *см* при генерируемой мощности несколько сотен *вт*. Имеется вариант К. с центральным цилиндрическим катодом — *карматрон*. (См. также *Магнетрон*).

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960, с. 470—75.

Е. Г. Соловьев.

КАСКАДНОЕ СОЕДИНЕНИЕ АСИНХРОННЫХ МАШИН (cascade coupling of asynchronous machines; couplage en cascade de machines asynchrones; Kaskadenschaltung von Asynchronmaschinen) — система для плавного и экономичного регулирования скорости вращения асинхронного двигателя (АД) путем введения в цепь его ротора внешней эдс, направленной согласно или встречно с эдс ротора и имеющей частоту, равную частоте ротора. Применяется для регулирования скорости АД средней и большой мощности нереверсивных электроприводов, напр. для нереверсивных прокатных станов, крупных воздуходувок, шахтных вентиляторов, центробежных насосов и др. Все К.с.а.м. могут быть разделены на 2 осн. категории: установки пост. мощности $P = \text{const}$ и установки пост. момента $M = \text{const}$. Установки пост. мощности характеризуются тем, что одна из машин, включенных в каскад с главным АД, сочленяется механически с валом этого двигателя (рис. 1,*а*). В установках пост. момента такой

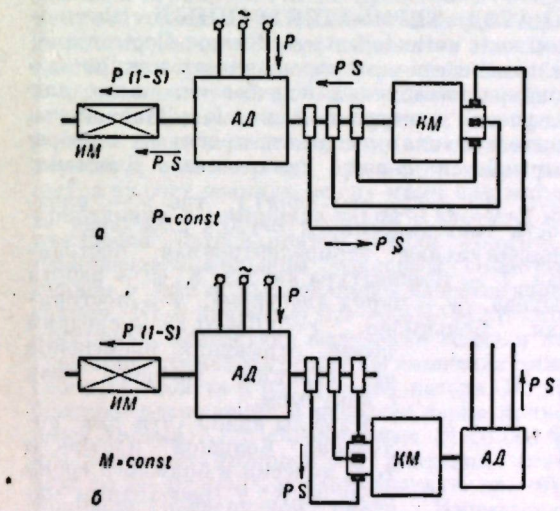


Рис. 1. Принципиальные схемы каскадных установок: *а* — пост. мощности ($P = \text{const}$), *б* — пост. момента ($M = \text{const}$).

механич. связи нет и вместо одной добавочной машины обязательно применение по крайней мере двух машин (рис. 1,*б*). Одна из этих машин — коллекторная пост. или перем. тока (КМ). Для создания каскадной установки АД с машиной пост. тока (МПТ) необходимо между ротором АД и якорем машины пост. тока включить преобразователь энергии скольжения в энергию пост. тока. В зависимости от типа преобразователя [одноякорный преобразователь (ОП), двигатель — генераторный преобразовательный агрегат или ионный преобразователь] изменяется и каскад. Принципиально каждая модификация каскада может быть выполнена как по схеме $P = \text{const}$, так и по схеме $M = \text{const}$. В каскаде с одноякорным преобразователем (рис. 2) регулирование

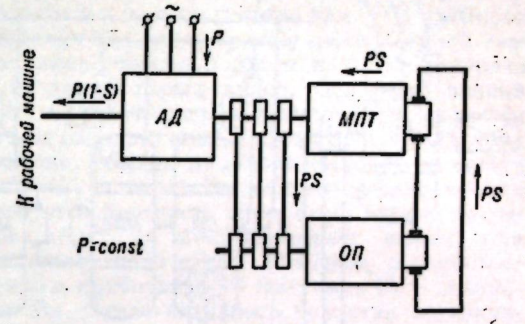


Рис. 2. Принципиальная схема каскада асинхронного двигателя и машины пост. тока с одноякорным преобразователем ($P = \text{const}$).

скорости по условиям работы преобразователя ограничивается пределами от 5 до 45%. Направление потоков энергии на рис. 1,*а* и *б* и на рис. 2 показано для случая регулирования скорости АД в зоне ниже синхронной, когда вспомогательная коллекторная машина работает в режиме двигателя. Энергия скольжения АД *PS* передается на вал или в сеть. Работа регулируемого АД на скорости выше синхронной возможна только при двойном питании: со стороны статора и со стороны ротора (рис. 1, *б*). При этом преобразователь работает в режиме генератора.

К самым мощным механизмам, требующим электроприводов с широким диапазоном регулирования скорости, относятся вентиляторы аэродинамич. труб. Совр. аэродинамич. трубы требуют электроприводов для вентиляторов 20000, 40000 *квт* с регулированием скорости в пределах 1:8 до 1:10 и поддержанием заданной скорости с точностью до долей %. Одним из решений такой задачи явилось применение К.с.а.м. Большая мощность регулируемого агрегата и широкие пределы изменения частоты ротора АД сделали невозможным использование одноякорного преобразователя или применение системы генератор — двигатель, т. к. машина пост. тока не может быть выполнена с мощностью в одном якоре выше 7000 *квт*. В подобных установках в качестве преобразователя используется двухмашинный агрегат, состоящий из синхронного двигателя и генератора пост. тока (рис. 3). Каскад состоит: из гл. регулируемого АД с фазным ротором ДАР; агрегата перем. скорости $СМ_1$—$МПТ_1$; агрегата пост. скорости $МПТ_2$—$СМ_2$. Регулирование скорости осуществляется изменением возбуждения $МПТ_1$ и $МПТ_2$. На рис. 4 показана схема каскада с ионным преобразователем. Пуск АД производится с помощью пускового реостата с последующим переключением на ионный преобразователь. Условия коммутации ионного преобразователя более благоприятны, чем одноякорного. Глубина регулирования скорости составляет 70—80%. Ионный преобразователь в этом случае работает в качестве неуправляемого выпрямителя. Для уменьшения переменной составляющей выпрямленного тока в цепь якоря включен сглаживающий дроссель. На рис. 5

показан вентильный каскад с 2 комплектами ионных преобразователей, из к-рых один работает в режиме неуправляемого выпрямителя, другой в режиме инвертора. При работе на скорости ниже синхронной энергия скольжения через выпрямитель поступает в инвертор, к-рый преобразует энергию скольжения из энергии пост. тока в энергию перем. тока и возвращает ее в сеть. Если перевести вентили инверторной группы в выпрямит. режим, а вентили неуправляемого выпрямителя сделать управляемыми с частотой ротора и перевести их в инверторный режим, то можно осуществить режим работы АД со скоростью выше синхронной. Поскольку пределы регулирования каскадных установок с коллекторными машинами не велики, а пром-сть в большинстве случаев требует больших пределов регулирования мощных установок, то в совр. практике такие каскадные установки утрачивают свое значение и заменяются системой генератор — двигатель (Г—Д) или системой управляемый ртутный выпрямитель — двигатель. Однако асинхронный вентильный каскад (рис. 5) получает все большее применение. По такой схеме выполнен электропривод на трубокомпрессорах мощностью 4500 *квт* газопровода Ставрополь — Москва. Замена ртутных выпрямителей осваиваемыми пром-стью мощными полупроводниковыми диодами будет способствовать еще более широкому применению асинхронного вентильного каскада.

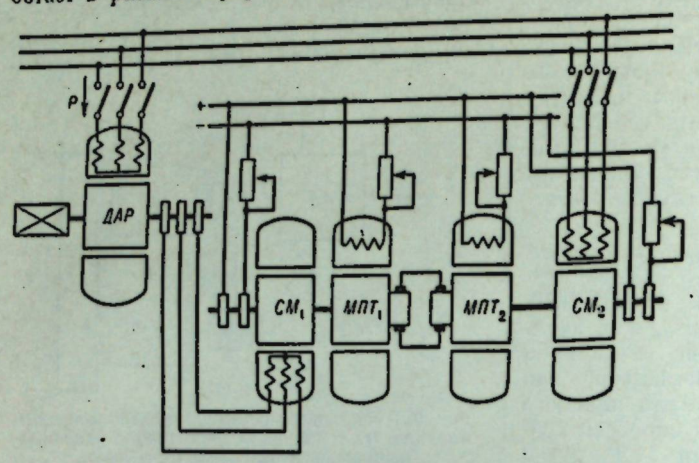


Рис. 3. Схема каскада асинхронного двигателя и машины пост. тока с двигатель-генераторным преобразователем.

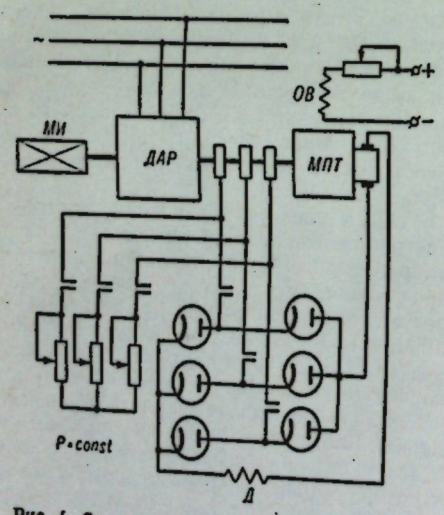


Рис. 4. Схема каскада асинхронного двигателя и машины пост. тока с ионным преобразователем; P = const.

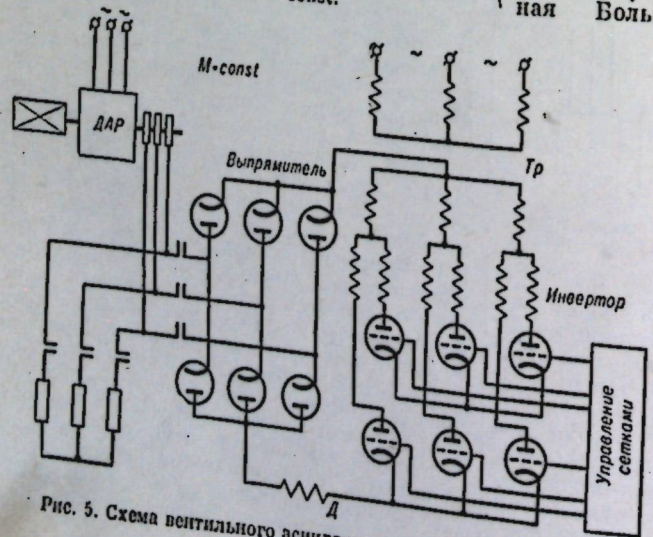


Рис. 5. Схема вентильного асинхронного каскада; M = const.

Лит.: Пиотровский Л. М., Электрические машины, Л.— М., 1949; Попов В. К., Основы электропривода, М.— Л., 1945; Андреев В. П. и Сабинин Ю. А., Основы электропривода, М.— Л., 1956.

В. З. Ярина.

КАТОД ТЕРМОЭЛЕКТРОННЫЙ (thermoelectronic cathode; cathode thermo-électronique; Glühkathode) — электрод электровакуумного прибора, накаливаемый до высоких темп-р для получения электронной эмиссии. Зависимость плотности тока эмиссии электронов от темп-ры выражается ф-лой Ричардсона — Дэшмана:

$$j = A_0(1-r)T^2 \exp\left[-q\varphi/kT\right],$$

где j — плотность тока эмиссии, $A_0 = 120{,}4$ *а/см²·град²* — универсальная термоэлектронная постоянная, T — температура катода °К, φ — работа выхода, q — заряд электрона, k — постоянная Больцмана, $r = 0{,}05—0{,}15$ — средний коэфф. отражения электронов от границы твердого тела с вакуумом.

Из ф-лы видно, что для получения большой плотности тока эмиссии и большого срока службы К. т. необходимы материалы с малыми значениями работы выхода и допускающие накаливание до высоких темп-р без заметного испарения.

В генераторных лампах, работающих при значит. анодных напряжениях, и в спец. типах электрометрич. ламп из чисто металлич. катодов применяются преимущественно вольфрамовые, работающие в области 2500°К и обладающие весьма стабильной уд. эмиссией (0,3 *а/см²*), реже — танталовые. Из пленочных катодов наиболь-

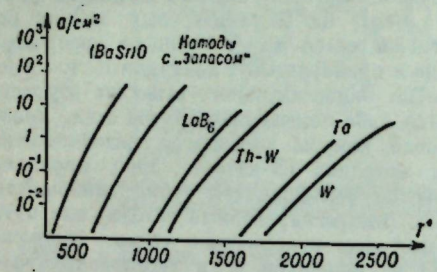
шее распространение получил торированный вольфрам W — Th, основным недостатком которого является неустойчивость ториевой пленки на поверхности вольфрама, что ведет и к неустойчивости эмиссии. Устойчивость его работы значительно повышается при карбидировании прокаливанием в парах углеводородов, напр. бензола. Карбидированные катоды, работая при $T = 2000$°К, позволяют отбирать уд. эмиссию до 3,0 *а/см²*, а обычный W—Th устойчиво работает при $T = 1800$°К с уд. эмиссией, равной лишь 0,8 *а/см²*. Карбидированный вольфрам успешно применяется в мощных генераторных лампах, вытесняя чисто вольфрамовые катоды. В приемно-усилит. лампах малой и средней мощности и во многих др. видах электровакуумных приборов наибольшее распространение получил оксидный катод, представляющий очень пористый слой окислов Ba и Sr или Ba, Sr и Ca, нанесенный на металлич. подложку (кери). Тех. оксидные катоды оформляются либо в виде подогревных, представляющих собой металлич. цилиндр, на внешней поверхности к-рого нанесен слой оксида, со вставленным внутрь цилиндра алундированным вольфрамовым подогревателем, либо в виде К. т. прямого накала со слоем оксида, нанесенным на кери, служащий в этом случае и подогревателем. В качестве кернов К. т. прямого накала используется обычно W или различные сплавы Ni, а для кернов подогревных оксидных катодов используется как чистый Ni, так и с различными восстанавливающими присадками. Рабочая темп-ра оксидного К. т. лежит в области 950—1050°К, что позволяет получать уд. эмиссию 0,1—0,5 *а/см²*. Эмиссия оксидного катода практически не имеет насыщения и ограничена лишь процессами искрения, ведущими к его гибели вследствие отрыва частиц оксида от керна. Развитие этих процессов связано с неравномерностью эмиссии в отдельных участках поверхности катода, что вызывает большой разогрев и газовыделение в центрах эмиссии, и с наличием между керном и слоем оксида прослойки, образующейся за счет реакции между ними или между присадками в материале керна и слоем и являющейся ортосиликатом бария (Ba_2SiO_4), обладающего большим удельным сопротивлением ϱ при использовании в качестве керна технич. Ni с примесью 0,1—0,4% Si. В этой прослойке, вследствие выделения тепла и нагревания, происходит быстрое снижение эмиссионных свойств и разрушение катода. Во избежание разрушения в качестве керна применяют чистый Ni с содержанием Si<0,001%, что позволяет отбирать без искрения эмиссию до 5—10 *а/см²*, ограничиваемую гл. обр. тепловой перегрузкой анода. Импульсная эмиссия оксидного К. т. может в десятки раз превышать его эмиссию в непрерывном режиме работы, при одинаковых внешних условиях. Недостатки оксидного К. т., заключающиеся в сложности его технологии, чувствительности его эмиссии к вакуумным условиям в приборе, низкой сопротивляемости ионной бомбардировке, искрении, в значит. падении эмиссии в течение импульса анодного напряжения, послужили поводом к разработке новых типов катодов. Создавались новые конструкции с целью предотвращения искрения путем улучшения электропроводности слоя (катоды спитерированные, с сетками в слое, с металлизацией слоя) или предохранения эмитирующего слоя оксида от ионной бомбардировки (ламельные, ячейчатые, трубчатые полые катоды); взамен окислов щелочноземельных металлов использовались др. соединения, напр., окиси тория, карбида тория, борида лантана и т. п. Разработка спец. катодов и в первую очередь для СВЧ приборов (*клистронов*, *магнетронов*, *ламп бегущей волны*, *ламп обратной волны* и т. п.) привела к созданию новых видов. Осн. требованием к К. т., работающим в режиме СВЧ, является обеспечение высокой плотности рабочего тока эмиссии, обычно пропорциональной квадрату рабочей частоты. На сантиметровых волнах требуется плотность эмиссии до многих десятков *а/см²*; на миллиметровых волнах она достигает сотен *а/см²*. Широкое распространение в приборах СВЧ получили К. т. с запасом Ba. Запас активного вещества осуществляется либо помещением внутри спец. молибденовой камеры карбонатов щелочноземельных металлов (Л-катоды), либо пропиткой пористой вольфрамовой губки алюминатами бария (импрегнированные катоды) или путем совместного прессования смеси, состоящей либо из порошков W и тугоплавких солей бария: вольфраматов, танталатов, алюминатов с добавкой небольших количеств восстановителя в виде порошков Al или карбида вольфрама (прессованные барий-вольфрамовые катоды), либо порошков Ni и карбонатов бария, стронция, кальция (прессованные барий-никелевые катоды). Последние являются предельным вариантом обычных оксидных катодов с металлизацией слоя. Все К. т. с запасом обладают примерно одинаковыми эмиссионными хар-ками, но технология их изготовления несколько упростилась при последоват. переходе от Л-катодов к прессованным за счет замены карбонатов щелочноземельных металлов, выделяющих углекислоту, тугоплавкими солями. Высокая эмиссионная способность этих катодов обеспечивается возобновляющейся пленкой Ba (или его соединений) на вольфрамовой или никелевой поверхности за счет диффузии Ba из объема К. т., где сосредоточен запас активного вещества. Многочисленные варианты К. т. с запасом, позволяющие отбирать значит. эмиссию в импульсном и в непрерывном режимах, нашли широкое распространение и в электронолучевых трубках, металлокерамич. триодах и т. п.

В приборах СВЧ, напр. в магнетронах, получили распространение ториево-оксидные катоды, удовлетворительно работающие при высоких анодных напряжениях и в условиях ионной и электронной бомбардировок. Рабочая темп-ра и эмиссионные хар-ки этих катодов сходны с катодами из торированного W. Ториево-оксидный катод представляет собой слой окиси Th на вольфрамовом или чаще на танталовом кернах или же металлокерамич. трубку, спеченную из смеси порошков окиси Th с вольфрамом и накаливаемую электрич. током. Более простая технология, легкость активирования ториево-оксидного К. т., по сравнению с оксидным, его устойчивая работа в форсированных тепловых режимах способствовали широкому распространению этого вида К. т.

К. т. на основе гексаборида La (LaB_6) имеет много положит. свойств, напр. характерную для него устойчивость к сильной ион-

ной бомбардировке (может работать при $p=10^{-3}$ *мм рт. ст.*). Несмотря на трудности технологии, они получили широкое распространение в спец. электронных устройствах, напр. в ускорителях.

Для измерит. приборов, электрич. счетных машин, линий дальней связи и особенно в труднодоступной аппаратуре, напр. в усилителях подводных кабелей, требуются очень долговечные лампы. В качестве катодов для этих ламп используются оксидные на кернах из чистого Ni или Pt, Ni с примесью W, Cr, Al, Mg и др. восстанавливающих окись Ba присадок, исключая Si, образующий близ керна *запирающий слой* с высоким ρ.



Температурная зависимость электронной эмиссии в непрерывном режиме для термокатодов.

Мн. эффективные К. т., оксидные — прямого накала и некоторые разновидности прессованных, получили широкое распространение в газоразрядных приборах (газотронах, тиратронах), в газосветных и люминесцентных лампах.

Температурная зависимость удельной эмиссии наиболее широко распространенных типов К. т. приведена на рис., а их основные технич. хар-ки даны в таблице.

Лит.: 1) Герман Г. и Вагенер С., Оксидный катод, пер. с нем., М.— Л., 1949; 2) Оксидный катод. Сб ст., М.— Л., 1957; 3) Царев Б. М., «РиЭ», 1957, т. 2, № 6, с. 675—87, 4) его же, в кн.: Тр. конференции по электронике СВЧ, М.— Л., 1959, с. 236—60; 5) Моргулис Н. Д., «УФН», 1954, т. 53, в. 4.

Б. В. Бонбаренко.

КАТОД ХОЛОДНЫЙ с самоподдерживающейся эмиссией (self-sustained emission cold cathode; cathode froide a émission auto-entretenue; Kaltkathode mit eigenerzeugter Emission) — бесподогревный катод, состоящий из пористого слоя диэлектрика на металлич. подложке, эмитирующий электроны под действием сильного электрич. поля, возникающего внутри слоя в результате кратковременного воздействия на него различных возбудителей. Возбудителями эмиссии могут быть источники облучений (световые, рентгеновские), быстрых электронов и ВЧ полей и др., вызывающие небольшую начальную эмиссию с поверхности катода. В результате последняя заряжается положительно относительно подложки. При этом эмиссия быстро возрастает до нек-рого значения, определяемого анодным напряжением, а затем самоподдерживается без воздействия возбудителя.

Механизм работы К. х. еще недостаточно ясен. Предполагают, что под действием электрич. поля в порах слоя происходит нарастание лавины электронов за счет выбивания вторичных электронов первичными, образовавшимися в глубине слоя. Возможными процессами, производящими первичные электроны в глубине слоя, могут быть, напр., фотоионизация и *автоэлектронная эмиссия* из подложки. Протекание тока через слой возможно благодаря наличию в нем дырочной проводимости (см. *Электропроводность* ПП). Наиболее исследован К. х. из слоя MgO, нанесенного на никелевую подложку методом опрыскивания или катафореза. Плотности токов эмиссии с таких катодов в стационарном режиме составляют 1—5 *ма/см²*. Получение бо́льших плотностей токов ограничивается нагревом слоя MgO проходящим через него током эмиссии, что приводит к снижению эмиссии при температуре слоя выше 350—400°. Кратковременно, а также при спец. охлаждении катода можно получить плотность тока до 50—140 *ма/см²*. Время формирования эмиссии после включения возбудителя и анодного напряжения сравнительно невелико. Для светового возбудителя в виде накаливаемой нити оно, напр., порядка 0,05 *сек*. Работа К. х. в импульсном режиме не исследовалась.

Тип катода и срок службы (час) *	Рабочая темп-ра °К	Эмиссия в рабочих условиях ($a/см^2$): непрерывный режим	Эмиссия в рабочих условиях ($a/см^2$): импульсный режим	Работа выхода** (*эв*)
Вольфрамовый, 10000, (1) . .	2500	0,3	0,3	$4.54+6.55\cdot10^{-5}$
Танталовый, 10000, (1) . . .	2300	0,3	0,3	$4.13+2.6\cdot10^{-5}$
Карбидированный торированный вольфрам, 15000, (2) . . .	2000	3	3	$2.67+7.7\cdot10^{-6}$
Оксидный, 3000, (3)	1100	0,5	—	$1.02+7.7\cdot10^{-3}$
Оксидный, 10000, (3)	900	—	—	
Оксидный на чистом Ni, (3).	1120	2	50	—
Катоды с запасом активного вещества: Л-катод, 8000, (2) . . десятки, (2)	950	1,5	—	$1.68+3.24\cdot10^{-4}$
	1350	—	300	—
импрегнированный, 5000, (2)	1200	1,5	—	$1.77+3.2\cdot10^{-4}$
импрегнированный, (2)	1340	6,0	—	$1.53+5.73\cdot10^{-4}$
импрегнированный, (2)	1130	—	20	—
прессованный W—Ba (W+Ba,WO₄+WC), (2) .	1200	4,5	30	—
прессованный Ni—Ba 1% ZnH₂ (70%Ni+30% карбоната), 9000, (2) . . давление 12 *т/см²*	1270	1,5	—	$1.79+1.36\cdot10^{-4}$
Торнево-оксидный, 1000, (1)	1950	2	2—5	$2.59+2.86\cdot10^{-4}$
Борид лантана, 250, (1) . .	1850	2	2	$1.69+1.25\cdot10^{-4}$

* Способность выдерживать ионную бомбардировку и отравление: хорошо (1), удовлетворительно (2), плохо (3). ** Значения работы выхода $\varphi=\varphi_0+\frac{d\varphi}{dT}T$ приведены для диапазона темп-р T, близких к рабочим.

После включения возбудителя и анодного напряжения сравнительно невелико. Для светового возбудителя в виде накаливаемой нити оно, напр., порядка 0,05 *сек*. Работа К. х. в импульсном режиме не исследовалась.

Для получения К. х. можно использовать и др. диэлектрики, напр. окислы элементов: Be, Ca, B, Al, La, Si, Ge, Th, а также нек-рые силикаты и вольфраматы ($ZnSiO_3$, $CdWO_4$). Однако все эти вещества дают эмиссию меньшую, чем MgO.

К. х. находится в стадии исследования. Перспективность его применения, напр., в *лампах приемно-усилительных* определяется вероятной возможностью увеличения срока службы и экономичностью прибора с таким катодом за счет отсутствия подогревателя.

Лит.: Исследование некоторых свойств холодного оксидно-магниевого катода с самоподдерживающейся эмиссией, «РиЭ», 1961, т. 6, в. 10; Арановичр. М., Ксендзацкий И. Г. и Тимофеев П. В., Электронные лампы с холодными катодами, «ИАН. ОТН. Энергетика и автоматика», 1960, № 6, с. 143—47; Skellett A. T., Firth B. G., Mayer D. W., Magnesium oxide cold cathode and its application in vacuum tubes, «Proc. I.R.E.», 1959, v. 47, № 10, p. 1704; Mizushima Y., Igarashi Y., Imai T., «J. Phys. Soc. Japan», 1960, v. 15, № 4, p. 729.

И. Я. Басалаева.

КАТОДНОЕ РАСПЫЛЕНИЕ (cathode dispersion; dispersion cathodique; Kathodenzerstäubung) — разрушение отрицат. электрода (твердого вещества) в газовом разряде под действием ударов положит. ионов. Бомбардирующие ионы, проникая в глубь вещества и взаимодействуя с атомами, смещают их. Эти атомы в свою очередь вызывают новые смещения и т. д. Часть атомов при этом движется к поверхности и выходит за ее пределы. К. р.— явление вредное, ухудшающее работу приборов, но оно применяется для очистки поверхности, выявления структуры вещества («ионное травление»), получения фигур травления, направленных атомных пучков, нанесения тонких пленок и т. д. К. р. начинается при энергии ионов выше «порога распыления» E_0, к-рый для различных элементов колеблется от единиц до неск. десятков *эв*. Осн. величина, характеризующая К. р.,— коэфф. распыления N, т. е. число атомов, выбитых одним ионом. Вблизи порога $N\simeq10^{-5}$ атомов/ион, а при оптимальных условиях N достигает неск. десятков. N не зависит от времени распыления вещества, плотности ионного тока и давления газа p при $p<0{,}1$ *мм рт. ст.* (при $p>0{,}1$ *мм рт. ст.* происходит кажущееся уменьшение N за счет частиц, осаждающихся обратно на распыляемую поверхность). На величину N влияют свойства бомбардирующих ионов (их энергия E, масса M_1, угол падения α на мишень) и распыляемого вещества (чистота поверхности, темп-ра объекта, его кристаллич. структура, масса атомов мишени M_2). Изменение N с увеличением E происходит по сложному закону. При энергии ионов до неск. сотен *эв* $N\simeq E$ (по одним данным) либо $N\simeq\ln E$ (по другим). Для энергий ≷неск. *кэв* $N\simeq\sqrt{E}$. При дальнейшем увеличении энергии наступает максимум N, а затем коэфф. распыления уменьшается с ростом E, что объясняется увеличением потерь на неупругие соударения. $N_{макс}$ сдвигается в сторону больших E при увеличении M_1. $N_{макс}$ достигается при энергиях E (*кэв*), численно равных атомному весу бомбардирующих частиц. Для ионов азота, напр., бомбардирующих медную мишень, $N_{макс}$ наступает при 15 *кэв* (рис. 1), N увеличивается с возрастанием M_1. При бомбардировке медной мишени ионами с $E=20$ *кэв* установлена зависимость: $N\simeq\sqrt{M_1}$. Для энергий ~ неск. сотен *эв* N оказывается пропорциональным $\frac{4M_1M_2}{(M_1+M_2)^2}$ либо $\frac{2M_2}{M_1+M_2}$.

Увеличение угла падения α ионов на мишень (отсчитываемого от нормали к поверхности) приводит к возрастанию N. $N_{макс}$ наблюдается при $\alpha\simeq30$—70°. Далее N несколько уменьшается ($\alpha>70°$). Сильное увеличение N с ростом α для ионов Hg с энергией=800 *эв* обнаружено у Fe, Ta, Mo, Ni, W, слабое — у Au, Ag, Pt, Cu. Существ. влияние на величину N оказывает

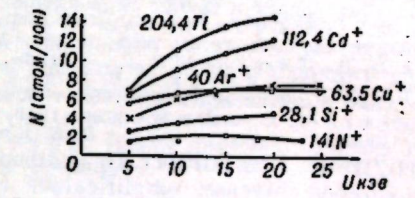


Рис. 1. Изменение коэфф. распыления при увеличении энергии бомбардирующих ионов.

чистота распыляемой поверхности. Образование на поверхности оксидных пленок приводит к значит. уменьшению N (этим, напр., объясняется плохое распыление Al, Zn и т. п.). Относительно изменения N с ростом темп-ры мишени в литературе имеются противоречивые данные. Коэфф. распыления во мн. случаях уменьшается с увеличением теплоты возгонки вещества. Наблюдается сильная зависимость N от M_2, N увеличивается с ростом атомного номера (а следоват., и массы) вещества внутри каждого периода периодич. системы элементов. Коэфф. распыления зависит от типа кристаллич. решетки вещества: он максимален для вещества с гранецентрированной кубич. решеткой и минимален для веществ с гексагональной и алмазной решетками. Угловое распределение частиц, выходящих с распыляемой поверхности, анизотропно. Оно зависит от энергии ионов, а для монокристаллов еще и от типа кристаллич. решетки и строения распыляемой грани. При низких энергиях ионов

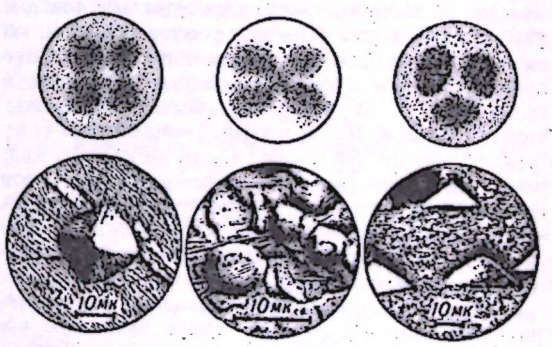


Рис. 2. Фигуры травления граней (100), (110), (111): монокристаллы меди (внизу) и осадок из расплавленного вещества, полученный на экране, установленном параллельно распыляемой грани (вверху).

(300—800 *эв*), падающих нормально к поверхности поликристалла, наибольшее распыление происходит под углом 50—70°; при $E\simeq$неск. тысячам *эв* и выше распыление под углом 90° максимально. Уменьшение плотности осадка из распыляемого вещества прибли-

зительно пропорционально косинусу угла отклонения от нормали или происходит несколько быстрее. При К. р. монокристаллов характерно преимущественное распыление вещества вдоль кристаллографич. направлений с наибольшей плотностью упаковки атомов. Картина осадка из распыляемого вещества на прозрачном экране имеет вид дискретных пятен. Симметрия картин осадка соответствует симметрии распыляемой грани и симметрии, образовавшейся на ней в результате распыления фигур травления (рис. 2).

Лит.: Моргулис Н. Д., «УФН», 1946, т. 28, вып. 2—3, с. 202; Месси Г. С. В., Бархоп Е. Г. С., Электронные и ионные столкновения, пер. с англ., М., 1958; Cunningham R. L. [a. o.], «J. Appl. Phys.», 1960, v. 31, № 5, p. 839; Моргулис Н. Д., Тищенко В. Д., «ЖЭТФ», 1956, т. 30, вып. 1, с. 54; Спивак Г. В. [и др.], «Физика металлов и металловедение», 1959, т. 7, вып. 6, с. 893; Moore W. J., «Amer. Scientist», 1960, v. 48, № 2, p. 109—33.

В. Е. Красова.

КАТОДНЫЙ ПОВТОРИТЕЛЬ (cathode repeater; cathode suiveuse, amplificateur cathodique; Kathodenfolger, Kathodenfolgestufe) — ламповый усилитель, охваченный глубокой отрицат. обратной связью, с нагрузкой в цепи катода. В К. п. (рис.) выходное напряжение совпадает по фазе со входным. Между сеткой и катодом действуют входное и выходное напряжения, включенные навстречу друг другу; поэтому управляющее напряжение $U_{ск}$ равно их разности, т. е. схема охвачена стопроцентной отрицат. обратной связью. К. п. имеет ряд существ. особенностей по сравнению с усилителями с анодной нагрузкой. Он не усиливает напряжения: его коэфф. усиления по напряжению K_u принципиально не может быть больше 1 и обычно не превышает 0,9.

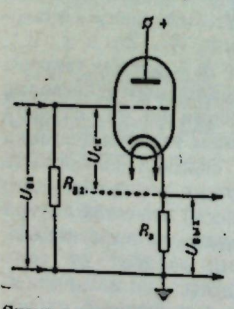


Схема катодного повторителя на триоде.

Численно $K_u \cong SR_к/(1+SR_к)$, где S — крутизна лампы, $R_к$ — сопротивление в цепи катода. К. п. является усилителем мощности и усилителем тока. Коэфф. усиления К. п. по току $K_т$ численно равен отношению входного сопротивления к сопротивлению нагрузки в цепи катода: $K_т \cong R_{вх}/R_к$; обычно $R_{вх}$ значительно больше $R_к$, и коэфф. усиления по току бывает весьма большим. К. п. обладает низким выходным сопротивлением, что является одним из основных его достоинств. Величина выходного сопротивления колеблется в пределах от десятков до тысяч *ом* — в зависимости от крутизны лампы, примененной в схеме. Численно выходное сопротивление можно определить как $R_{вых} \cong 1/S$. Малое выходное сопротивление дает возможность К. п. работать на значит. емкостные нагрузки без заметных частотных искажений в области высоких частот. Однако выходное сопротивление К. п. при усилении сигналов большой амплитуды зависит от величины и полярности сигнала. При усилении импульсов их амплитуда может оказаться такой, что во время отрицат. перепада лампа находится в режиме, близком к запиранию; в этой области крутизна лампы мала, а выходное сопротивление соответственно велико, вследствие чего импульс на выходе искажается — увеличивается длительность его заднего фронта. При одинаковых коэфф. усиления и выходных сопротивлениях К. п. имеет больший динамич. диапазон, чем каскад с анодной нагрузкой. Существуют разновидности схем К. п., отличающиеся способом подачи отрицат. смещения на управляющую сетку либо характером нагрузки в катоде — вместо активного сопротивления может быть включен дроссель или тр-р. К. п. широко применяется в схемах радиотехнич. автоматич. устройств, в качестве буферных, выходных и согласующих каскадов, т. к. обеспечивает работу в большом динамич. диапазоне входных напряжений, обладает малой входной емкостью, большим входным сопротивлением и низкоомным выходом. В схемах на транзисторах такое же применение находит *эмиттерный повторитель*.

Лит.: Бонч-Бруевич А. М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, 3 изд. М., 1955; Степанов Д. В., Импульсные усилители, М.— Л., 1954.

КАЧЕСТВА ОЦЕНКА (estimation of quality; estimation de qualité; Gütebestimmung, Bestimmung der Güteziffer) — определение показателей переходного процесса или их границ. К. о. переходных процессов, возникающих в САР, может быть получена путем непосредственного построения кривой переходного процесса и определения *качества показателей*. Для построения кривой переходного процесса в линейных системах с пост. коэфф. необходимо вычислить корни характеристич. ур-ния и системы. Для нелинейных систем и систем с перем. параметрами для построения кривой переходного процесса могут быть использованы различные численные и графоаналитич. способы интегрирования дифференц. ур-ний. Практически для К. о. более удобно применять менее трудоемкие, хотя и менее точные, косв. методы. К их числу относятся: *частотный метод*, *распределения корней метод* и *интегральных оценок метод*.

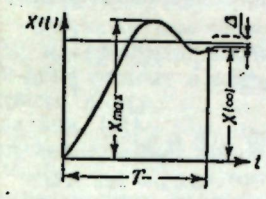
Лит.: Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах; М., 1959, гл. 4, § 1, 2; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

Р. И. Стаховский.

КАЧЕСТВА ПОКАЗАТЕЛИ в автоматическом регулировании (indexes of quality; indices de qualité; Güteparameter)—величины, характеризующие поведение системы в переходном процессе, вызванном определенным внешним воздействием. При оценке качества системы при любом входном сигнале предполагается, что система устойчива. Чаще всего К. п. определяют по реакции системы на единичное ступенчатое воздействие. К. п. являются: статическое отклонение $x(\infty) = \lim_{t \to \infty} x(t)$; максимальное отклонение регулируемой величины x_{max} или перерегулирование $\sigma\% = \frac{x_{max} - x(\infty)}{x(\infty)} \cdot 100\%$; время переходного процесса или время регулирования T — наименьшее время, отсчитываемое от момента приложения воздействия до момента, после к-рого имеет место неравенство $|x(t) - x(\infty)| \leqslant \Delta$, где Δ — заданная малая величина; число колебаний γ регулируемой величины в течение времени T (рис.).

Если система в переходном процессе не превышает заданных значений перечисленных К. п., то она имеет требуемое качество. Часто оценивают К. п. по изменению ошибки системы

в переходном процессе. Для астатич. систем может быть $\varepsilon(\infty) = \varepsilon(t) = 0$ и К. п. будут: ε_{max}, T и γ. Для оценки качества следящих систем при установившихся режимах работы применяются: точность, характеризуемая статич. и динамич. ошибками, добротность системы по скорости $D = \omega/\varepsilon_{ск}$, где ω — пост. скорость слежения, $\varepsilon_{ск}$ — скоростная ошибка следящей системы и добротность системы по ускорению $D = \frac{a}{\varepsilon_{уск}}$, где a — пост. ускорение слежения, $\varepsilon_{уск}$ — ускоренческая ошибка следящей системы.



Показатели качества.

К. п. определяются либо точно построением переходного процесса по дифференц. ур-нию системы, либо по приближ. оценкам (оценка по корням и полюсам характеристич. ур-ния системы, частотные оценки, интегральные оценки).

В системах, работающих при случайных воздействиях, К. п. $x(\infty)$, x_{max}, T и γ теряют смысл и, как К. п., применяют среднее квадратич. или срединное значение ошибки.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

О. И. Ларичев.

КАЧЕСТВЕННЫЕ МЕТОДЫ (qualitative methods; méthodes qualitatives; Verfahren mit Güteparametern) — методы, позволяющие без нахождения решения ур-ний, описывающих динамич. систему, получить представление о нек-рых характерных чертах этого решения. К. м. применимы при исследовании систем, описываемых дифференциальными, разностными, интегральными и др. ур-ниями. Наибольшее развитие получили К. м. исследования систем, описываемых обыкновенными дифференц. ур-ниями.

К К. м. относятся: 1) Исследование ур-ний динамич. системы на существование и единственность решений. Если динамич. система описывается ур-ниями вида $\dot{x}_i = f_i(x_1, x_2, \ldots, x_n, t)$, $x_i(t_0) = x_i^0$, $(i = 1, 2, \ldots, n)$, то существование и единственность решения имеют место, если ф-ции $f_i(x_1, \ldots, x_n, t)$ удовлетворяют определенным условиям. 2) Исследование устойчивости системы (см. *Анализ устойчивости систем*). 3) Определение грубости системы. При описании динамич. системы с помощью ур-ний того или иного вида приходится делать упрощающие предположения. Однако если при малом изменении коэфф. этих ур-ний (или параметров системы) решение изменяется качественно, то полученное решение может совершенно не отражать физ. сущности явлений, происходящих в системе, или отражать их неправильно. Для правильного отражения сущности происходящих явлений необходимо, чтобы при малом изменении коэфф. ур-ний изменения решений были малы, что и является требованием грубости системы. 4) Исследование особых точек. Особой точкой, или точкой покоя динамич. системы, описываемой ур-ниями вида $\dot{x}_i = f_i(x_1, \ldots, x_n)$, $(i = 1, 2, \ldots, n)$, — т. н. «очевидное решение», т. е. решение системы ур-ний $f_i(x_1, \ldots, x_n) = 0$ $(i = 1, 2, \ldots, n)$. Существуют методы, позволяющие оценить число особых точек. Исследование особой точки сводится к определению ее типа, т. е. к изучению поведения траекторий динамич. системы в фазовом пространстве в окрестности особой точки. В частности, это исследование может заключаться в анализе устойчивости особой точки. 5) Отыскание периодич. решений и их исследование. В фазовом пространстве динамич. системы периодич. решениям соответствуют замкнутые траектории. Методы отыскания периодич. решений и исследования поведения динамич. системы вблизи этих решений зависят от типа ур-ний, описывающих динамич. систему. Сюда же относится разбиение фазового пространства динамич. системы на области одинакового качественного поведения системы. 6) Зависимость решений от малого параметра. Пусть динамич. система описывается ур-ниями:

$$\dot{x}_i = f_i(x_1, \ldots, x_n, t, \mu), \; x_i(t_0) = x_i^0, \quad (i = 1, 2, \ldots, n).$$

Если ф-ции f_i непрерывны по совокупности всех аргументов, включая μ, и удовлетворяют условию Липшица по переменным $x_1, x_2, \ldots, x_n$, то решение будет непрерывно зависеть от параметра μ. Эти условия иногда не выполняются. Примером является система, описываемая дифференц. ур-ниями вида:

$$\mu\dot{x}_1 = f_1(t, x_1, \ldots, x_n);$$
$$\dot{x}_i = f_i(t, x_1, \ldots, x_n),$$
$$x_1(t_0) = x_1^0; \quad x_i(t_0) = x_i^0; \quad (i = 2, 3, \ldots, n).$$

Поскольку приведенные выше условия не выполняются при $\mu = 0$, то решения такой системы могут качественно отличаться от решений т. н. вырожденной системы, получающейся при $\mu = 0$. Здесь требуется специальное исследование поведения решения системы в окрестности решения вырожденной системы, что позволяет решить вопрос о возможности пренебречь малым параметром. 7) Исследование асимптотич. поведения динамич. системы. Часто для выяснения полной картины поведения системы проводится исследование асимптотического поведения траекторий системы в фазовом пространстве. Существует ряд теорем, позволяющих провести такое исследование.

Лит.: Немыцкий В. В. и Степанов В. В., Качественная теория дифференциальных уравнений, 2 изд., М.— Л., 1949; Эльсгольц Л. Э., Качественные методы в математическом анализе, М., 1955; Лефшец С., Геометрическая теория дифференциальных уравнений, пер. с англ., М., 1961.

Л. А. Тененбаум.

КВАДРАНТ ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ (hydraulic quadrant; quadrant hydraulique; hydraulischer Quadrant) — то же, что поворотный *гидромотор*.

КВАДРАТИЧНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ (square programming; programmation quadratique; quadratische Programmierung) — один из разделов *математического программирования*, включающий теорию и числ. методы решения условных экстрем. задач (с большим числом переменных), у к-рых минимизируемая ф-ция — сумма линейной и неотрицательно определ. квадратичной формы, а ограничения — линейные равенства и неравенства. Произвольную задачу К. п. можно привести к следующему виду (аналог канонич. формы задачи

линейного программирования). Минимизировать ф-цию

$$F(x_1, x_2, \ldots, x_n)=\sum_{j=1}^{n} c_j x_j+ \\ +\tfrac{1}{2}\sum_{\lambda=1}^{n}\sum_{\mu=1}^{n} d_{\lambda\mu}x_\lambda x_\mu \qquad (1)$$

при ограничениях

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j=b_i, \quad i=1, 2, \ldots, m; \qquad (2)$$

$$x_j\geqslant 0, \quad j=1, 2, \ldots, n. \qquad (3)$$

Предполагается, что квадратичная форма, участвующая в образовании ф-ции (1), неотрицательно определена, т. е. для любых чисел $z_1, z_2, \ldots, z_n$

$$\sum_{\lambda=1}^{n}\sum_{\mu=1}^{n} d_{\lambda\mu}z_\lambda z_\mu\geqslant 0. \qquad (4)$$

Условие (4) обеспечивает выпуклость ф-ции (1), вследствие чего задача (1) — (3) является частной задачей *выпуклого программирования*. Общая задача линейного программирования— спец. случай задачи (1)— (3), когда все $d_{\lambda\mu}=0$. Точка $X=(x_1, x_2, \ldots, x_n)$, удовлетворяющая условиям (2), (3), наз. планом задачи (1) — (3). План, доставляющий минимум целевой ф-ции (1), наз. оптимальным планом или решением задачи.

Методы К. п. используются для решения многих практич. задач, возникающих в технике, экономике и военном деле. Формулировки двух прикладных задач, укладывающихся в модель К. п., даны ниже.

1. Определение параметров движения по результатам наблюдений. В теории автоматич. регулирования часто приходится иметь дело со следующей задачей. Допустим, что нек-рый объект описывается системой обобщенных координат x_s при $s=1, 2, \ldots, p$. Изменение s-й координаты со временем задается выражением

$$x_s(t)=\sum_{i=1}^{n_s} a_i^{(s)}\varphi_i^{(s)}(t),$$

где $\varphi_i^{(s)}(t)$ — известные ф-ции времени, $a_i^{(s)}$— нек-рые неизвестные числовые параметры. Во многих случаях значения неизвестных параметров $a_i^{(s)}$ ограничены рядом условий. Напр., могут быть заранее известны нижние и верхние пределы изменения для этих параметров или диапазоны изменения обобщенных координат $x_s(t)$ и их производных в отдельные моменты времени. Система таких условий в общем случае имеет вид

$$\sum_{s=1}^{p}\sum_{i=1}^{n_s} r_{i\lambda}^{(s)}a_i^{(s)}\leqslant r_\lambda, \quad \lambda=1, 2, \ldots, \tau_1, \qquad (5)$$

$$\sum_{s=1}^{p}\sum_{i=1}^{n_s} r_{i\lambda}^{(s)}a_i^{(s)}=r_\lambda, \quad \lambda=\tau_1+1, \ldots, \tau. \qquad (6)$$

В фиксиров. моменты времени $t_1, t_2, \ldots, t_l$ производится вычисление координат объекта, сопровождаемое ошибками измерений. Пусть x_{ks} — измеренное значение s-й координаты в момент времени t_k. Предположим, что случайные ошибки измерения координат подчиняются норм. закону с нулевым математич. ожиданием, причем элемент обратной матрицы корреляции ошибок, отвечающий величинам $x_\alpha(t_\lambda)$ и $x_\beta(t_\mu)$, равен $k_{\alpha\beta}^{(\lambda\mu)}$. В таком случае, применяя принцип максимума правдоподобия, приходим к необходимости минимизировать ф-цию

$$\sum_{\lambda,\,\mu=1}^{l}\sum_{\alpha,\,\beta=1}^{p} k_{\alpha\beta}^{(\lambda\mu)}\left[x_{\alpha\lambda}-\sum_{i=1}^{n_\alpha} a_i^{(\alpha)}\varphi_i^{(\alpha)}(t_\lambda)\right]\times \\ \times\left[x_{\beta\mu}-\sum_{i=1}^{n_\beta} a_i^{(\beta)}\varphi_i^{(\beta)}(t_\mu)\right] \qquad (7)$$

относительно переменных $a_i^{(s)}$. Задача определения оптим. значений параметров движения по результатам нескольких наблюдений сводится к минимизации ф-ции (7), переменные к-рой связаны системой линейных ограничений (5), (6). Ф-ция (7) — сумма линейной и квадратичной форм относительно параметров $a_i^{(s)}$, причем квадратичная форма неотрицательно определена. Т. о., эта задача является задачей К. п.

2. Геодезическая задача. При проектировании системы геодезич. вышек возникает следующая задача. Пусть места строительства вышек уже определены. Под планом построения системы из k вышек будем понимать набор их высот $x_1, x_2, \ldots, x_k$. Требуется найти такой план построения системы геодезич. вышек, к-рый обеспечивал бы миним. суммарные расходы по их строительству при условии визуальной видимости между соседними вышками. Условие видимости между вышками с номерами λ и μ записывается в виде неравенства

$$a_{\lambda\mu}x_\lambda+a_{\mu\lambda}x_\mu\geqslant b_{\lambda\mu}.$$

Стоимость строительства j-й вышки высотой x_j измеряется выражением

$$\varphi_j(x_j)=\alpha_j x_j^2+\beta_j x_j+\gamma_j,$$

где числа $\alpha_j>0$, β_j и γ_j определяются расположением вышки и технологией строительства. Т. о., выбор оптим. плана строительства системы геодезич. вышек сводится к минимизации ф-ции

$$\sum_{j=1}^{k}\varphi_j(x_j) \qquad (8)$$

при условиях

$$a_{\lambda\mu}x_\lambda+a_{\mu\lambda}x_\mu-\varepsilon_{\lambda\mu}=b_{\lambda\mu} \quad \text{для} \quad (\lambda, \mu)\in E; \qquad (9)$$

$$\varepsilon_{\lambda\mu}\geqslant 0 \text{ для } (\lambda, \mu)\in E, \ x_j\geqslant 0 \\ \text{для } j=1, 2, \ldots, k. \qquad (10)$$

Здесь E—множество пар номеров соседних (просматриваемых) вышек; число таких пар равно ω. Получили задачу К. п. типа (1) — (3) с $n=k+\omega$ неотрицат. переменными, связанными системой из ω линейных равенств.

Методы К. п. Если в линейном программировании решение задачи достигается на одной из вершин многогранника условий, то в задачах К. п. оптим. план может быть расположен на любой из граней многогранника, определяемого условиями (2), (3). Решение задачи (1) — (3) путем прямого перебора всех возможных вариантов сводится к исследованию $N=\sum_{i=m}^{n} C_n^i$ систем линейных ур-ний с числом неизвестных, колеблющимся от m до $n+m$.

Даже при сравнительно небольших значениях m и n такой способ связан с огромными вычислит. трудностями. Отсюда возникает необходимость в разработке спец. вычислит. алгоритмов К. п.

Все известные методы К. п. базируются на т. н. критерии оптимальности, содержание к-рого состоит в следующем. Для того чтобы точка $X=(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ являлась решением задачи (1) — (3), необходимо и достаточно существования такой системы чисел (точки) $Y=(y_1, y_2, \ldots, y_m)$, что для пары точек (X, Y) выполняются условия:

1) $\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j=b_i, \ i=1, 2, \ldots, m;$

2) $x_j\geqslant 0, \ j=1, 2, \ldots, n;$

3) $\Delta_j(X, Y)=\sum_{i=1}^{m} a_{ij}y_i-\sum_{\lambda=1}^{n} d_{\lambda j}x_\lambda-c_j\leqslant 0, \\ j=1, 2, \ldots, n;$

4) $\sum_{j=1}^{n}\Delta_j(X, Y)\,x_j=0.$

Первые два условия критерия оптимальности означают, что X — план задачи; последние два условия указывают на оптимальность этого плана. Условия 1) и 3) критерия оптимальности линейны. Это обстоятельство существенно упрощает числ. анализ задач К. п. и позволяет создать удобные вычислит. схемы, во многом сходные со схемами линейного программирования.

Методы К. п. делятся на конечные и итеративные. Наиболее употребительны конечные методы. При их использовании решение задачи достигается за конечное число однотипных шагов (итераций). Конечные методы К. п. могут быть разделены на 3 осн. группы.

В первой группе методов производится последовательное улучшение плана задачи (аналог *симплексного метода* в линейном программировании). На каждом шаге метода первой группы имеются план X задачи и точка Y, связанная с планом X условием 4). Если пара точек (X, Y) удовлетворяет также и условию 3), то X — решение задачи. В противном случае от плана X переходят к новому плану X', уменьшая при этом значение минимизируемой ф-ции (1). Вычислит. схемы, реализующие идею последоват. улучшения плана, состоят в последовательном заполнении ряда таблиц, элементы к-рых рассчитываются по простым рекуррентным ф-лам.

Вторая группа конечных методов К. п. в идейном отношении близка к тем методам линейного программирования, в к-рых движение к оптимуму происходит по планам двойств. задачи (метод уточнения оценок и метод сокращения невязок). На каждой итерации метода имеется пара точек (X, Y), удовлетворяющая условиям 3), 4) и одному из условий 1), 2). Если оставшееся условие, выполняющее роль критерия оптимальности метода, также удовлетворяется, то X — оптим. план задачи. Если же решение еще не достигнуто, то осуществляется переход к новой паре точек (X', Y'), к-рый ведет к возрастанию значения минимизируемой ф-ции (1). Т. о., в методах второй группы решение задачи (1) — (3) определяется путем вычисления последовательности точек X^k, каждая из к-рых, вообще говоря, не является планом задачи. При этом приближение к искомому минимуму осуществляется не сверху (как в методах первой группы), а снизу.

Наконец, третья группа конечных методов К. п. ведет свое начало от тех методов линейного программирования, в к-рых улучшаются планы обеих задач двойств. пары одновременно (метод вилки, метод двусторонних оценок). Здесь на каждой итерации имеется пара точек (X, Y), удовлетворяющая условиям 1) — 3) критерия оптимальности. Условие 4) служит критерием оптимальности метода: выполнение этого условия указывает на оптимальность точки X. Если условие 4) оказывается нарушенным, то осуществляется переход к новой паре точек (X', Y'), к-рая по-прежнему удовлетворяет условиям 1)— 3); однако

$$-\sum_{j=1}^{n} x_j'\Delta_j(X', Y')\leqslant -\sum_{j=1}^{n} x_j\Delta_j(X, Y).$$

Конечные методы К. п. второй и третьей групп могут быть также реализованы в виде простых вычислит. схем, состоящих в последовательном заполнении ряда таблиц. Наиболее разработанными являются алгоритмы К. п., связанные с первой группой конечных методов. Конечные методы К. п. устроены так, что:

а) имеется только конечное множество вариантов [пар точек (X, Y)], к-рые могут выявиться в процессе решения задачи;

б) существует ф-ция пары точек (X, Y) (ф-ция метода), монотонно убывающая в процессе решения. Условия а) и б) обеспечивают сходимость метода за конечное число итераций. Конечное множество вариантов и функция метода, фигурирующие в условиях а), б), определяют сущность метода. Напр., в методах первой группы движение к оптимуму осуществляется по таким планам задачи, к-рые минимизируют ф-цию (1) на гранях многогранника условий, содержащих эти планы внутри себя. Ф-ция метода совпадает здесь с ф-цией (1).

Итеративные методы К. п., в к-рых решение задачи достигается в результате, вообще говоря, бесконечного числа простых итераций, развиты значительно слабее конечных методов. В осн. это связано с тем, что известные итеративные методы К. п. существенно менее эффективны, чем конечные методы: для получения решения задачи итеративным методом с приемлемой степенью точности требуется огромное число итераций. В случае положит. определенности квадратичной формы из соотношения (1) может использоваться еще одна группа методов К. п. С помощью несложных преобразований задачу (1) — (3) заменяют задачей минимизации ф-ции типа (1) при условии неотрицательности части ее переменных. Число переменных задачи возрастает при этом до $n+m$. Для решения получ. задачи К. п. с одними только условиями неотрицательности переменных могут далее применяться различные методы К. п. (в т. ч. любой из конечных методов К. п.). Для решения этой задачи используются, в частности, итеративные алгоритмы. На практике часто возникают задачи К. п., система условий к-рых существенно проще общих ограничений типа (2), (3). Учет специфики задачи может значительно повысить эффективность ее числ. анализа. Однако в настоящее время методы решения спец. задач К. п. разработаны еще недостаточно.

Полного изложения теории и методов К. п. пока нет.

Лит.: Beale E. M. L., On quadratic programming, «Naval Res. Logistics Quart.», 1959, v. 6, № 3, p. 227–43; Frank M., Wolfe P., An algorithm for quadratic programming, там же, 1956, v. 3, № 1–2, p. 95–110; Hildreth C., A quadratic programming procedure, там же, 1957, v. 4, № 1, p. 79–85; Зойтендейк Г., Методы возможных направлений, пер. с англ., М., 1963; Деннис Дж. Б., Математическое программирование и электрические цепи, пер. с англ., М., 1961. *Е. Г. Гольштейн.*

КВАНТОВАНИЕ (quantizing; quantification; Quantisierung, Analog-Digital-Umwandlung) — преобразование нек-рой величины с непрерывной шкалой значений в величину, имеющую дискретную шкалу значений. Если, напр., отсчет темп-ры до К. по уровню мог принимать любое значение от —40° до +50°, то после К. по уровню через 1° возможно только 91 значение: —40°, —39°, ..., 0°,..., +50°. К. является *дискретизацией* по значениям функции (в отличие от дискретизации по значениям аргумента, напр., времени). Диапазон изменения исходной величины x — интервал (a, b) — разбивается на n интервалов $\Delta_i = x_i - x_{i-1}$ $(i=1, 2, ..., n)$ точками $x_0=a, x_1, x_2, ..., x_{n-1}, x_n=b$ (Δ_i наз. шагом К.). Любое значение x, попавшее внутрь i-го интервала Δ_i, т. е. удовлетворяющее неравенствам $x_{i-1} < x < x_i$, округляется до величины x_i', назначенной для этого интервала и выбранной из него. Значения x_i' $(i=1, ..., n)$, до к-рых округляются при К. значения x, составляют дискретную шкалу значений квантованной величины x' и наз. уровнями К. (говорят, что величина x квантована на n уровней).

Замена x на x' приводит к ошибке К. $\delta = x' - x$. Последовательность ошибок К. $\delta(t)$ можно формально представить как шум (шум К.), накладывающийся на $x(t)$ и дающий в результате $x'(t)$. Число уровней квантования n, распределение длины интервалов Δ_i и выбор x_i' должны быть такими, чтобы определенная к.-л. образом величина шума К. не превосходила допустимого предела.

Под величиной шума обычно понимают либо «амплитуду» шума $\delta_0 = \max|\delta|$, либо среднеквадратич. значение $\delta_1 = \sqrt{\overline{\delta^2}}$. Величина δ_1^2 есть, очевидно, мощность шума, поэтому δ_1 можно назвать «эффективной амплитудой». При заданном n δ_0 минимально, если все Δ_i одинаковы: $\Delta_i = \Delta = \frac{b-a}{n}$ и x_i' выбрано посередине соответств. интервала $x_i' = (x_i + x_{i-1})/2$. Это т. наз. равномерное К., наиболее часто употребляемое на практике.

При равномерном К. $|x' - x| \leqslant \frac{\Delta}{2}$, т. е. $\delta_0 = \frac{\Delta}{2} = \frac{b-a}{2n}$. Т. к. $\frac{b-a}{2}$ можно назвать «амплитудой» x, то относит. «амплитудная» ошибка квантования $2\delta_0/(b-a)$ есть просто $1/n$. Отсюда легко найти n, если задана δ_0 или $2\delta_0/(b-a)$. Равномерное К. есть округление значения x до ближайшего значения x_i'. Минимальное δ_1 определяется не только n, но и распределением вероятности исходной величины. Если x имеет равномерное распределение, то есть

$$p(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & a < x < b \\ 0 & x < a,\ x > b, \end{cases}$$

где $p(x)$ — плотность распределения x, то наилучшее К. есть равномерное К. и

$$\delta_1 = \frac{\Delta}{\sqrt{12}} = \frac{b-a}{n\sqrt{12}}.$$

Т. к. «эффективная амплитуда» (стандартное отклонение) самой величины x в этом случае есть $\sigma = \frac{b-a}{\sqrt{12}}$, то относит. «эффективная» ошибка равна $\delta_1/\sigma = 1/n$.

Для произвольного распределения $p(x)$ определение оптим. интервалов К. Δ_i и значений x_i' является сложной задачей. Если же для произвольного $p(x)$ прибегнуть к равномерному К. (не являющемуся теперь оптимальным), то для большого n приближенно будет снова $\delta_1 = \Delta/\sqrt{12}$. Среднеквадратичное значение шума может иметь конечное значение при конечных n даже для величины x с бесконечным интервалом изменения (но с конечной дисперсией).

К. производится спец. квантующими устройствами (КУ).

КУ бывают электромеханич., превращающие подлежащую К. величину x (темп-ра, давление и т. п.) в пропорцион. поворот вала, на к-рый насажен диск с кодовыми комбинациями, считываемыми неподвижной щелью. В электронных КУ на спец. квантующих трубках поворот диска заменяется перемещением электронного луча. Существуют и др. КУ — многоканальные амплитудные анализаторы и пр. Примером К. является широко распростран. представление ф-ций в виде таблиц (где значения ф-ции даются с точностью до некоторого десятичного знака).

К. применяется для статистич. измерений распределений величин с помощью счетчиков (в ядерной физике и т. п.), в телеизмерении, в системах автоматич. управления, в связи — системах с импульсно-кодовой модуляцией и в др. системах с кодированием, а также в др. отраслях. КУ служат для согласования устройств непрерывного действия с устройствами дискретного действия, напр. датчиков величин, подлежащих регулированию с ЦВМ.

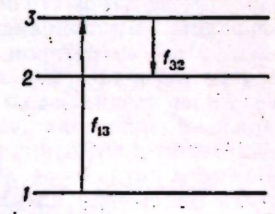
В квантовой физике понятие К. имеет другой специальный смысл. Здесь К. наз. нахождение собственных значений операторов физ. величин, т. е. тех «разрешенных» значений физ. величин (энергии, импульса, вращат. момента и др.), к-рые может иметь (обнаруживать при измерении) данная физ. система.

Д. С. Лебедев.

КВАНТОВАЯ СИСТЕМА (квантовый усилитель или генератор (quantum system; système des quanta; Quantensystem) — система для генерирования и усиления электромагнитных колебаний, основанная на явлении индуцированного излучения, возникающем при взаимодействии электромагнитного поля с веществом. Атомы (молекулы) любого вещества энергетически могут находиться в различных квантовых состояниях, образующих дискретную систему квантовых уровней. В условиях термодинамич. равновесия число атомов (молекул), находящихся в данном состоянии (заполняющих данный уровень), пропорционально $e^{-E_m/kT}$, где E_m — энергия, соответствующая этому уровню. Энергия атомов (молекул) может изменяться (т. е. между различными уровнями с энергиями E_m и E_n могут происходить переходы) в результате поглощения или испускания электромагнитного излучения; при этом частота излучения $f_{mn} = (E_n - E_m)/h$, где h — постоянная Планка. При поглощении атом (молекула) переходит в более высокое энергетич. состояние ($E_m \to E_n$), а при излучении — в более низкое ($E_n \to E_m$). Процессы поглощения и излучения характеризуются вероятностями соответствующих переходов. При этом, как показал впервые Эйнштейн, вероятность излучательных переходов имеет две составляющие. Одна из них зависит только от св-в излучающего атома (молекулы) и от характера уровней и не зависит от внешних полей; она характеризует т. н. спонтанное излучение. Другая прямо пропорциональна плотности энергии внешнего (по отношению к излучающему атому или молекуле) электромагнитного излучения на той же частоте, при к-рой происходит излучательный переход; эта составляющая соответствует индуцированному (вынужденному) излучению. Существенно, что при индуцированном излучении испускаемый фотон имеет то же направление распространения, ту же частоту, ту же фазу и такую же поляризацию, что и внешнее (вынуждающее) излучение. Вероятность индуцированного излучения уже при очень малых плотностях энергии внешнего поля значительно превышает вероятность спонтанного излучения. Вероятность поглощения атомом (молекулой) энергии внешнего поля оказывается равной вероятности индуцированного излучения. Полная мощность P_f, поглощаемая у поля на частоте f_{mn}, равна $P_f = nf_{mn}w_{mn}(N_m - N_n)$, где N_m и N_n — числа атомов (молекул) на нижнем и на верхнем уровнях; w_{mn} — вероятность индуцированного излучения. В условиях термодинамич. равновесия число атомов на нижнем уровне в силу экспоненц. зависимости от энергии больше числа атомов на верхнем уровне (населенность нижнего уровня больше населенности верхнего), т. е. $N_m > N_n$ и $P_f > 0$, и происходит активное поглощение энергии внешнего поля. Если к.-л. образом произвести инверсию населенностей этих уровней — создать такие условия, когда $N_m < N_n$, то получим $P_f < 0$, т. е. поглощение станет как бы отрицательным, и энергия электромагнитного поля будет не поглощаться, а излучаться. Индуцированное излучение когерентно с падающим, поэтому возможно усиление в полном смысле. Если в такой системе осуществить обратную связь и условия самовозбуждения, то станет возможным и генерирование излучения.

Т. о., для создания К. с., способной к усилению или генерированию излучения (см. *Лазер*, *Мазер*), необходимо иметь вещество, атомы или молекулы к-рого совершают переходы между соответствующими энергетич. уровнями (т. н. активная среда), а также — способ осуществления инверсии населенностей этих уровней. Активной средой служат твердые вещества (напр., монокристаллы рубина), газообразные (напр., смесь Ne с He) и молекулярные (атомные) пучки (напр., пучки молекул NH_3). В одних случаях используются энергетич. уровни, расстояние между к-рыми не зависит от внешних условий (лазеры), в других — уровни, расстояние между к-рыми зависит от внешнего магнитного поля (парамагнитные усилители). Выбор активного материала для работы в данном диапазоне частот определяется наличием соответствующих переходов и хар-ками релаксационных процессов в этом материале (такие процессы осуществляют тепловой контакт излучающих атомов с окружающей их средой и существенно влияют на работу усилителя или генератора).

Инверсия населенностей уровней достигается либо путем отбора из данного числа молекул только тех, к-рые находятся в верхнем энергетич. состоянии (молекулярный генератор), либо путем обогащения верхних уровней за счет вспомогат. излучения с большей энергией (парамагнитные усилители, лазеры); последний способ получил назв. «подкачки». В 1-м способе работа происходит по двухуровневой схеме, в к-рой участвуют только переходы между двумя уровнями; непрерывная работа по такой схеме возможна лишь при использовании молекулярных (атомных) пучков. Поэтому большее распространение получили устройства, работающие по схеме 3 уровней (рис.), характерной для 2-го варианта. В этой схеме благодаря интенсивной «подкачке» энергии на частоте f_{13} создается состояние насыщения между уровнями *1* и *3*, при к-ром $N_1 \approx N_3$. В результате этого населенность уровня *2* оказывается ниже населенности уровня *3*, благодаря чему становится возможным усиление или генерирование частоты f_{32} (если $E_3 - E_2 < E_2 - E_1$). При этом можно непрерывно восполнять потери на верхнем уровне, пользуясь одной и той же системой атомов, причем требования к стабильности генератора подкачки (работающего на частоте f_{13}) невелики.



Представляет интерес использование системы более чем 3 уровней (4- и 5-уровневые схемы). Оказалось, что при определенном расположении уровней подкачка, осуществляемая на меньшей частоте (при переходах между более близкими уровнями), может обеспечить инверсию населенностей 2 других уровней, разделенных бо́льшим расстоянием. В результате частота усиливаемого сигнала может быть больше частоты подкачки. Такая схема позволяет снизить пороговую мощность подкачки лазеров и значительно упростить применение мазеров для миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов.

Усиление или генерация становятся возможными тогда, когда активное вещество помещается внутри объемного резонатора — в СВЧ диапазоне или между двумя плоскопараллельными зеркалами (образующими интерферометр Фабри — Перо) — в оптич. области. В зависимости от рабочего диапазона частот К. с. разделяются на мазеры (работающие в сантиметровом диапазоне радиочастот) и лазеры (работающие в видимой и ИК частях спектра).

Лит.: Басов Н. Г., Прохоров А. М., «ВАН СССР», 1960, № 4, с. 110; Соколов А. А., Лоскутов Ю. М., Тернов И. М., Квантовая механика, М., 1962, с. 482–85; Фриш С. Э., Тиморева А. В., Курс общей физики, т. 3, М., 1961, с. 485–90; Троуп Г., Квантовые усилители и генераторы, пер. с англ., М., 1961; см. также литературу при ст. *Лазер* и *Мазер*.

М. М. Горшков.

КВАНТОВЫЙ ОПТИЧЕСКИЙ ГЕНЕРАТОР (quantum optical generator; générateur optique des quanta; Quanten-optik-Generator) — см. *Лазер*.

КВАНТОВЫЙ УСИЛИТЕЛЬ (quantum amplifier; amplificateur des quanta; Quantenverstärker) — усилитель электромагнитных колебаний, в котором усиление осуществляется за счет использования индуцированного излучения возбужденных атомов (молекул), имеющего частоту усиливаемого сигнала. Основным преимуществом К. у. является чрезвычайно низкий уровень шумов, поскольку последние в принципе обусловлены только квантовыми свойствами атомов (молекул). Наибольшее распространение получил *парамагнитный усилитель квантовый*. Подробнее см. также *Квантовая система*, *Мазер*.

М. М. Горшков.

КВАРЦЕВАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ (quartz stabilizing; stabilisation par quartz; Quarzstabilisierung) — см. *Стабилизация частоты*.

КВИТИРОВАНИЕ в телемеханике (remote-control signal confirmation; confirmation de signal de télécommande; Abgabe des Quittungssignals in der Fernsteuertechnik) — операция, выполняемая наблюдающим за сигналами оператором для подтверждения приема сигнала и фиксации его на мнемосхеме. Вновь возникающий на мнемосхеме сигнал обращает внимание оператора на изменение состояния контролируемого объекта (напр., миганием сигнальной лампы) и на несоответствие положения сигнального прибора (символа) состоянию объекта. В результате К. сигнальный прибор должен занять положение, соответствующее новому состоянию контролируемого объекта. Имеются два способа К.: индивидуальное — с применением индивидуальных квитирующих ключей (см. *Ключи устройств телеуправления*), и общее — с одной общей для всех сигналов квитирующей кнопкой. В последнем случае схема К. осуществляется при помощи комплекта индивидуальных квитирующих реле. В цепи сигнальных приборов контакты квитирующих ключей или реле включаются по принципу несоответствия с контактами сигнальных реле, повторяющих состояние контролируемых объектов. Процесс К. состоит в воздействии на квитирующий ключ, в результате чего несоответствие

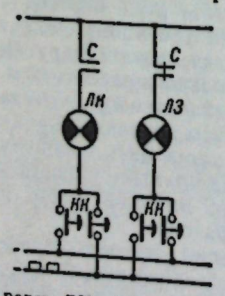


Схема индивидуального квитирования при двухламповой сигнализации: *С* — контакты сигнального реле; *ЛК*, *ЛЗ* — красная и зеленая лампы; *КК* — контакты квитирующего ключа.

устраняется и сигнальный прибор фиксирует новое положение объекта. На рис. приведена схема индивидуального К. при двухламповой сигнализации. При изменении состояния контролируемого объекта переключаются контакты реле *С*, в результате чего лампа *ЛК* (или *ЛЗ*), соответствующая новому состоянию объекта, загорается мигающим светом. При повороте ключа *КК* лампа старого положения гаснет, а нового — переходит на горение равным светом.

К. Г. Митюшкин.

КЕНОТРОН (kenotron; kénotron; gasgefüllte Gleichrichterröhre) — двухэлектродная электронная лампа, применяемая для выпрямления перем. тока (см. *Диод*). К. состоит из катода — источника, и анода — приемника электронов, помещенных в баллон с разреженным газом (давление 10^{-5}—10^{-9} *мм рт. ст.*). Выпрямляющее действие К. (рис. 1) основано на том, что электроны, испускаемые катодом, направляются к аноду в ту часть периода, когда на аноде по отношению к катоду имеется положит. потенциал. В те части периода, когда потенциал анода становится отрицат., анод отталкивает электроны, и ток в анодной цепи прекращается. Анодный ток i_a, проходя через сопротивление полезной нагрузки R, вызывает на нем падение напряжения $i_a R$, к-рое в простейшем случае, при отсутствии сглаживающего фильтра, является пульсирующим. Это напряжение наз. выпрямленным. На рис. 2 справа показана анодная хар-ка К., а снизу — кривая напряжения между анодом и катодом К. за период $T=2\pi/\omega$ (U_{am} — амплитуда падения напряжения на К. при прохождении анодного тока, e_m — амплитуда обратного напряжения, т. е. при отрицательном потенциале

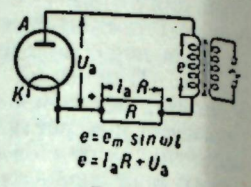


Рис. 1.

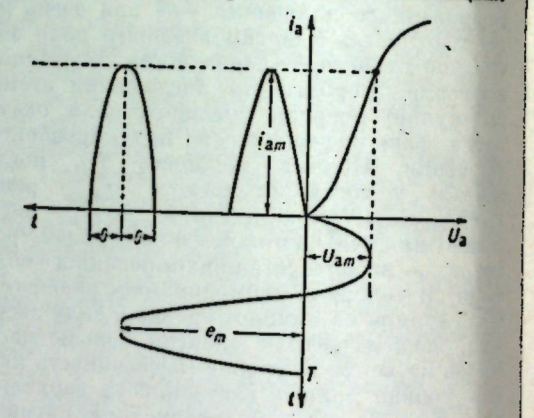


Рис. 2.

анода). Слева соответственно показана кривая пульсирующего (выпрямленного) анодного тока с амплитудой i_{am}; θ — угол отсечки анодного тока, равный при отсутствии фильтра 90° (при наличии фильтра $\theta<90°$).

Электроны, попадающие на анод, отдают ему свою кинетич. энергию, что вызывает нагревание анода. Выделяемое на аноде тепло отводится либо естественно — лучеиспусканием (напр., сквозь прозрачные стенки баллона), либо принудительно — конвекц. путем (при обдувании воздухом или омывании жидкостью — обычно водой).

К. классифицируются: по виду катода (с термо- и автоэлектронной эмиссией); по величине обратного анодного напряжения (низковольтные — до 1 *кв*, высоковольтные — до 100 *кв*, сверхвысоковольтные — свыше 100 *кв*); по числу анодов (одно- и двуханодные); по роду охлаждения анода (с естественным и принудит. охлаждением); по роду оболочки (со стеклянной, керамической, металлич. оболочкой); по конструкции анода (с внутренним или наружным анодом).

В К. в основном применяются катоды с термоэлектронной эмиссией, причем в низковольтных К. используются гл. обр. оксидные катоды прямого и косв. накала, а в высоко- и сверхвысоковольтных К. — вольфрамовые катоды прямого накала. Для высоковольтных К.

иногда применяются катоды с автоэлектронной эмиссией (при этом берутся материалы, используемые в фотоэлектронных приборах — серебряно-цезиевые, сурьмяно-цезиевые и др.). Внутренние аноды изготовляются в виде прямоугольных параллелепипедов или цилиндров из блестящего или черненого никеля, алюминированного железа, молибдена, тантала. Для сверхвысоковольтных К. аноды обычно выполняются в виде дисков из тугоплавких металлов (чаще молибдена). В высоковольтных К., рассчитанных на анодный ток порядка неск. *а*, наружные аноды (с принудительным охлаждением) изготовляются в виде медных или феррохромовых цилиндрических стаканов. Двуханодные конструкции часто используются для низковольтных К. с внутр. анодами (для схем двухполупериодного выпрямления).

Низковольтные К. применяются в радиоприемной, усилит., измерит. аппаратуре, а высоковольтные — в высоковольтной измерит. аппаратуре, в нек-рых радиоустройствах и в лабораторной аппаратуре. Однако К. этого вида вытесняются более выгодными газоразрядными и ПП приборами. Сверхвысоковольтные К. применяются в измерит. и испытат., а также в рентгеновской аппаратуре. С ними конкурируют секционированные газотроны. По сравнению с др. видами приборов для выпрямления перем. тока К. отличаются более высокой вентильной прочностью (при обратном напряжении) и ничтожной проводимостью в обратном направлении. Однако они имеют большое внутр. сопротивление, а следовательно, и большое внутр. падение напряжения, и сниженный кпд при большой электрической мощности, выделяемой (теряемой) на аноде при сравнительно больших габаритных размерах. К. на большие токи (в неск. *а*) требуют принудит. охлаждения анода.

Основные параметры К.: амплитудное и среднее значения анодного тока, амплитуда обратного напряжения, электрич. мощность, выделяемая на аноде, напряжение накала, ток накала, обратный анодный ток (для К. с оксидным катодом). К. иногда применяются и в устройствах для стабилизации напряжения и ограничения напряжения или тока. Электрич. схемы К. для выпрямления перем. тока см. в статьях о выпрямителях.

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960; Каганов И. Л., Электронные и ионные преобразователи, ч. 1—2, М.— Л., 1950—55; Царев Б. М., Расчет и конструирование электронных ламп, М.— Л., 1952; Шпангенберг К. Р., Электронные лампы, пер. с англ., [т.] 1—2, М., 1953—54; Бекк А. Х. В., Электронные лампы. Теория и конструирование, пер. с англ., М., 1958; Электровакуумные приборы. Справочник, М.— Л., 1956.

А. Г. Александров.

КЕНОТРОННЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ (kenotron rectifier; redresseur à kénotron; Röhrengleichrichter mit Gasfüllung) — выпрямитель, в к-ром в качестве вентиля используется *кенотрон*. Достоинствами кенотронов по сравнению с др. типами электрич. *вентилей* являются большие величины допустимых значений амплитуды анодного тока (по сравнению со ср. его значением), весьма высокие величины допустимых значений обратного напряжения и отсутствие обратных токов. Осн. недостаток кенотрона как электрич. вентиля — значит. величина его внутр. сопротивления, вследствие чего ср. значение выпрямл. напряжения и кпд К. в. (особенно при небольших значениях выпрямл. напряжения) значительно меньше, чем у выпрямителей с ионными и ПП вентилями. Однако большие внутр. сопротивления кенотронов при больших допустимых величинах амплитуды анодного тока позволяют эффективно использовать емкостный фильтр для сглаживания пульсаций выпрямл. напряжения. При этом нагрузка выпрямителя в целом будет иметь емкостно-активный характер.

Наиболее рационально использовать кенотроны в *выпрямителях однофазного тока*: однополупериодном и двухполупериодном (по т. н. схеме со ср. точкой, рис. 1). В связи с тем, что в двухполупериодной схеме со ср. точкой катоды кенотронов

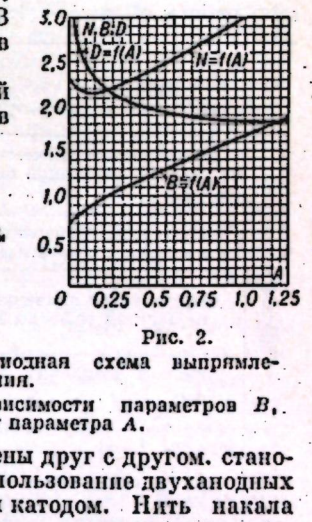


Рис. 2.

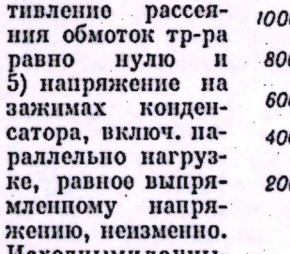


Рис. 1.

Рис. 1. Двухполупериодная схема выпрямления.

Рис. 2. Кривые зависимости параметров *B*, *D* и *N* от параметра *A*.

электрически соединены друг с другом, становится возможным использование двуханодных кенотронов с общим катодом. Нить накала кенотрона питается обычно от отдельной (накальной) обмотки анодного тр-ра.

Расчет К. в., работающих на активно-емкостную нагрузку, обычно производится по методу Б. П. Терентьева. По этому методу для упрощения вывода расчетных соотношений предполагается, что: 1) перем. напряжение имеет неискаж. синусоидальную форму, 2) внутреннее сопротивление вентиля R_i неизменно, 3) проводимость вентиля в обратном направлении равна нулю, 4) индуктивное сопротивление рассеяния обмоток тр-ра равно нулю и 5) напряжение на зажимах конденсатора, включ. параллельно нагрузке, равное выпрямленному напряжению, неизменно. Исходными данными для расчета принимают: ср. значения напряжения и тока нагрузки U_0 и I_0, а также $P_0=U_0 I_0$.

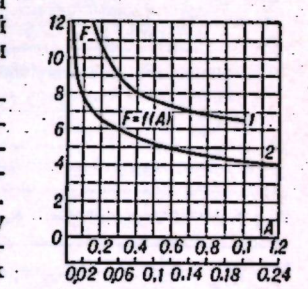


Рис. 3. Кривые зависимости параметра *F* от параметра *A*.

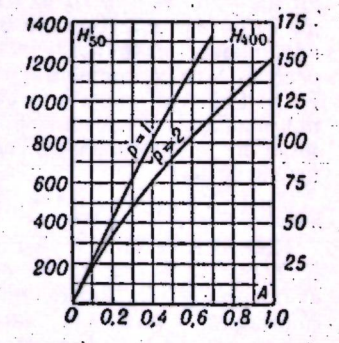


Рис. 4. Кривые зависимости параметра *H* от параметра *A* при частотах сети 50 и 400 *гц*.

Сущность метода заключается в том, что все осн. величины, характеризующие работу К. в. (напряжение и ток вторичной обмотки тр-ра,

его типовая мощность, среднее, действующее и амплитудное значения тока вентиля, обратное напряжение между его электродами и пульсация выпрямл. напряжения) и являющиеся ф-циями угла отсечки θ, выражаются через расчетный параметр A. Параметр A определяют по ф-ле: $A=I_0\pi r/pU_0$, где U_0, I_0— выпрямл. напряжение и ток, $r=r_{тр}+R_i$ — сопротивление фазы выпрямителя, p— число фаз выпрямления.

Затем, пользуясь кривыми рис. 2 — 4, находят параметры B, D, N, F и H, а по табл.— все перечисл. выше величины, характеризующие работу К. в.

	Параметр	Схемы выпрямления: однополупериодная	двухполупериодная	удвоения
Трансформатор	Действующее значение напряжения вторичной обмотки U_2	BU_0	BU_0	$0.5\,BU_0$
	Действующее значение тока вторичной обмотки I_2	DI_0	$0,5\,DI_0$	$1.41\,DI_0$
	Действующее значение тока первичной обмотки I_1	$\frac{I_0}{k_{тр}}\sqrt{D^2-1}$	$0,707D\frac{I_0}{k_{тр}}$	$1.41D\frac{I_0}{k_{тр}}$
	Типовая мощность тр-ра $P_{тип}$	$0,5B(D+\sqrt{D^2-1})P_0$	$0.85NP_0$	$0.707NP_0$
Вентиль	Обратное напряжение на вентиле $U_{обр}$	$2.82BU_0$	$2.82BU_0$	$1.41BU_0$
	Ср. значение тока вентиля $I_{ов}$	I_0	$0,5I_0$	I_0
	Действующее значение тока вентиля $I_в$	DI_0	$0,5DI_0$	DI_0
	Амплитудное значение тока вентиля $I_{макс}$	FI_0	$0,5FI_0$	FI_0
	Число вентилей	1	2	2
Пульсации	Частота осн. гармоники	$f_{сети}$	$2f_{сети}$	$2f_{сети}$
	Коэфф. пульсации $k_п$ **	H/rC	H/rC	H/rC

* $k_{тр}=\frac{U_1}{U_2}$ — коэфф. трансформации тр-ра. ** При определении коэфф. H на рис. 4 значение H для однополупериодной схемы берется для $p=1$, для остальных схем $p=2$.

К. в. при существующих типах кенотронов рационально используются для получения выпрямл. напряжений, начиная от 200—300 *в* до 100—200 *кв* при токах нагрузки от неск. *ма* до 500—600 *ма*. Однако в связи с широким внедрением *полупроводниковых вентилей* (в особенности кремниевых) область применения К. в. переместилась в сторону более высоких напряжений. В настоящее время нижняя граница их использования составляет несколько сотен *кв*.

Лит.: Терентьев Б. П., Электропитание радиоустройств, М., 1948.

И. И. Белопольский.

КИБЕРНЕТИКА (cybernetics; cybernétique; Kybernetik) — наука об общих закономерностях процессов управления и передачи информации в машинах, живых организмах и их объединениях. Осн. положения К. сформулировал в 1948 амер. ученый Н. Винер в книге «Кибернетика, или управление и связь в машинах и живых организмах». Возникновение К. обусловлено, с одной стороны, потребностями практики, выдвинувшей задачи создания сложных устройств автоматич. управления, и, с другой стороны — развитием научных дисциплин, изучающих процессы управления в различных физич. областях и подготовивших создание общей теории этих процессов. К числу таких наук относятся: теория автоматич. регулирования и следящих систем; теория электронных программно-управляемых вычислит. машин; статистич. теория передачи сообщений; теория игр и оптимальных решений и т. д., а также комплекс биологич. наук, изучающих процессы управления в живой природе (рефлексология, генетика и др.).

В отличие от указанных наук, занимающихся конкретными процессами управления, К. изучает то общее, что свойственно всем процессам управления, независимо от их физич. природы, и ставит своей задачей создание единой теории этих процессов. Для любых процессов управления характерно: наличие организов. системы, состоящей из управляющих и управляемых (исполнительных) органов; взаимодействие данной организов. системы с внешней средой, являющейся источником случайных или систематич. возмущений; осуществление управления на основе приема и передачи информации; наличие цели и алгоритма управления. Понятие цели управления в К. имеет весьма широкий смысл, включающий в себя также естеств. целесообразность систем управления живой природы, направленную на обеспечение устойчивости биологич. видов и приспособление их к изменениям внешней среды. Изучение проблемы естеств. причинного возникновения целесообразных управляющих систем живой природы является важной задачей К., к-рая позволит глубже выяснить соотношения причинности и целесообразности в живой природе.

К. изучает процессы управления с информац. стороны, отвлекаясь от энергетич. или конструктивных хар-к реальных систем управления. Поэтому К. определяют также как науку о способах восприятия, передачи, хранения, переработки и использования информации в машинах, живых организмах и их объединениях.

В задачу К. входит также систематич. сравнительное изучение структуры и различных физич. принципов работы систем управления с точки зрения их способности воспринимать и перерабатывать информацию.

К. по своим методам является наукой, широко использующей разнообразный математич. аппарат, а также сравнит. подход при изучении различных процессов управления. В качестве осн. разделов К. могут быть выделены: теория информации, теория методов управления (программирования) и теория систем управления.

Информации теория изучает способы восприятия, преобразования и передачи информации. Информация передается при помощи сигналов — физич. процессов, у к-рых определенные параметры находятся в однозначном соответствии с передаваемой информацией. Установление такого соответствия наз. *кодированием*. Хотя передача любых сигналов требует затраты энергии, количество ее в общем случае не связано с количеством, а тем более со смыслом передаваемой информации. В этом состоит одна из принципиальных особенностей процессов управления: управление большими потоками энергии может осуществляться сигналами, требующими для своей передачи незначит. количеств энергии. Центр. понятием теории информации является мера количества информации, определяемая как изменение степени неопределенности в ожидании нек-рого события, о к-ром говорится в сообщении до и после получения сообщения. Эта мера позволяет измерять количество информации в сообщениях подобно тому, как в физике измеряется количество энергии или количество веществ; смысл и ценность передаваемой информации для получателя при этом не учитываются. Помимо статистич. подхода, в теории информации наметился также семантич. подход, имеющий целью выработку количеств. методов оценки смысла и ценности сообщений. К этому направлению относится также изучение вопросов автоматич. выработки понятий, их классификации и опознания образов на основе «обучения» и «самообучения» машин.

Огромный интерес с точки зрения К. представляет изучение созданных природой естеств. способов кодирования наследств. информации, обеспечивающих сохранение в ничтожных объемах наследств. вещества огромных количеств информации, содержащих уже в зародышевой клетке признаки, определяющие структуру организма и закономерности его развития.

Теория программирования занимается изучением и разработкой методов переработки и использования информации для управления. Программирование работы любой системы управления в общем случае включает в себя: а) определение алгоритма нахождения решений, б) составление программы в коде, воспринимаемом данной системой. Нахождение решений сводится к переработке заданной входной информации в соответствующую выходную информацию (команды управления), обеспечивающую достижение поставл. цели. Оно осуществляется на основе нек-рого математич. метода, представленного в виде алгоритма. Наиболее развитыми являются математич. методы определения оптим. решений, такие, как *линейное программирование* и *динамическое программирование*, а также методы выработки статистич. решений в *игр теории*.

Теория алгоритмов, используемая в К., изучает формальные способы описания процессов переработки информации в виде условных математич. схем — алгоритмов. Осн. место занимают здесь вопросы построения алгоритмов для различных классов процессов и вопросы тождественных (равносильных) преобразований алгоритмов. Осн. задачей теории программирования является выработка методов автоматизации процессов переработки информации на электронных программно-управляемых машинах. Осн. роль играют здесь вопросы *автоматизации программирования*, т. е. вопросы составления программ решения различных задач на машинах с помощью этих машин.

С точки зрения сравнит. анализа процессов переработки информации в различных естественно и искусственно организованных системах, К. выделяет следующие осн. классы процессов: мышление и рефлекторная деятельность живых организмов; изменение наследств. информации в процессе эволюции биологич. видов; переработка информации в автоматич. системах; переработка информации в экономич. и административных системах; переработка информации в процессе развития науки. Выяснение общих закономерностей этих процессов составляет одну из осн. задач кибернетики.

Теория систем управления изучает структуру и принципы построения таких систем и их связи с управляемыми системами и внешней средой. Системой управления в общем случае может быть назван любой физич. объект, осуществляющий целенаправл. переработку информации (нервная система животного, система автоматич. управления движением самолета, электронная программно-управляемая вычислит. машина, система учреждений Госбанка СССР и др.). К. изучает абстрактные системы управления, представл. в виде математич. схем (моделей), сохраняющих информац. свойства соответствующих классов реальных систем. В рамках К. возникла спец. математич. дисциплина — *автоматов теория*, изучающая спец. класс дискретных систем переработки информации, включающих в себя большое число элементов и моделирующих работу нейронных сетей. Большое теоретич. и практич. значение имеет выяснение на этой основе механизмов мышления и структуры мозга, обеспечивающих возможность восприятия и переработки огромных количеств информации в органах малого объема с ничтожной затратой энергии и с исключительно высокой надежностью. К. выделяет два общих принципа построения систем управления: *обратной связи* и многоступенчатости (иерархичности) управления (см. *Иерархичности принцип управления*). Принцип обратной связи позволяет системе управления постоянно учитывать фактич. состояние всех управляемых органов и реальных воздействий внешней среды. Многоступенчатая схема управления обеспечивает экономичность и устойчивость системы управления. Сочетание принципов обратной связи и иерархичности управления придает системам управления свойство «ультраустойчивости», позволяющее системе автоматически находить оптим. положения при любых непредвиденных изменениях внешней обстановки, а также при изменениях ее внутренней структуры (напр., из-за помех) и изменениях ее параметров (напр., в результате старения). Эти принципы обеспечивают не только устойчивость, но и приспосабливаемость систем управления к изменяющимся условиям и являются основой, в частности, эволюции биологич. видов. Эти принципы, будучи реализованными в первой системе животных, дают возможность развития, обучения и приобретения опыта живыми организмами в процессе их жизни. Постепенная выработка

условных рефлексов и их непрерывное наслаивание представляют собой повышение уровней управления в нервной системе данного животного. Принципы обратной связи и иерархичности управления используются также при построении сложных систем управления в технике и организации процессов управления в обществ. жизни.

При изучении систем управления возникают два рода вопросов: анализ структуры системы управления и определение реализуемого ею алгоритма и синтез из заданных элементов системы, обеспечивающей выполнение заданного алгоритма. Общими требованиями при этом являются требования заданного быстродействия, точности работы, миним. количества элементов и надежности функционирования. Весьма плодотворным при исследовании структуры различных систем управления является *моделирование* этих систем на электронных программно-управляемых машинах универс. назначения.

К. занимается также вопросами общей теории организов. систем. Для количеств. оценки степени организации систем вводится спец. числовая мера, характеризуемая количеством информации, к-рую требуется ввести в систему, чтобы обеспечить переход системы из начального беспорядочного состояния в требуемое организованное состояние.

Особый интерес представляют *самоорганизующиеся системы*, могущие самостоят. переходить из произвольных начальных состояний в устойчивые состояния, соответствующие характеру внешних воздействий. В общем случае состояние таких систем изменяется под влиянием внешних воздействий произвольным образом. Однако эти системы обладают упомянутыми выше регулирующими механизмами высших уровней, к-рые осуществляют фиксацию и целенаправленный отбор наиболее устойчивых состояний, соответствующих характеру внешних воздействий. Свойство самоорганизации может проявляться только у систем, обладающих определ. степенью сложности, в частности избыточностью структурных элементов и случайным характером связей между ними, изменяющихся в результате взаимодействия системы с внешней средой. К таким системам относятся, напр., сети нейронов мозга, нек-рые типы колоний живых организмов, искусственно самоорганизующиеся технич. системы типа персептрон, а также нек-рые типы сложных экономич. или административных объединений.

Осн. разделы К. по своему содержанию очень тесно связаны друг с другом. Так, степень организации систем определяется через *информации количество*; понятие *алгоритма* — через нек-рую абстрактную управляющую систему — вычислит. машину Тьюринга (см. *Тьюринга машина*); процессы самообучения и самоорганизации систем связаны с процессом опознавания и классификации информации и т. д. Отдельные разделы К. образуют единую теорию процессов управления, находящуюся еще в стадии становления.

Помимо методологического значения, К. имеет большое практическое значение как теория, обеспечивающая единый подход к изучению искусственных и естественных систем управления и рацион. построение различных систем сбора, передачи, хранения и обработки информации. Методы теории информации позволяют оценивать экономичность и надежность различных способов кодирования информации и проектировать каналы связи с высокой пропускной способностью и помехоустойчивостью и наиболее эффективные ЗУ. Математич. методы нахождения оптим. решений широко применяются в области экономич. планирования и анализа; они помогают правильно использовать ресурсы и производств. возможности и осуществлять оптим. управление как отдельными пр-тиями, так и отраслями хозяйства.

К. является теоретич. основой автоматизации технологич. процессов. Комплексная автоматизация при применении принципов самонастраивающихся и самообучающихся систем позволяет обеспечить достижение наивыгоднейших режимов управления, что особенно важно для сложных производств. Необходимой предпосылкой такой автоматизации является наличие для данного производств. процесса детального математич. описания (математич. модели), к-рое вводится в ЭВМ, управляющую процессом, в виде программы ее работы. В эту машину поступает информация о ходе процесса от различных измерит. устройств и датчиков, и машина на основе имеющейся математич. модели процесса рассчитывает его дальнейший ход при тех или иных командах управления. Если подобное моделирование и прогнозирование протекает значительно быстрее реального процесса, то имеется возможность путем расчета и сравнения ряда вариантов выбирать наивыгоднейший режим управления. Оценка и выбор вариантов могут производиться как самой машиной полностью автоматически, так и с помощью человека-оператора. Важную роль при этом играет проблема оптим. сопряжения человека-оператора и управляющей машины (см. *Психология инженерная*, *Система «человек—автомат»*).

Большое практич. значение имеет выработанный К. единый подход к анализу и описанию (алгоритмизации) различных процессов управления и переработки информации путем последовательного расчленения этих процессов на элементарные акты, представляющие собой альтернативные выборы («да» или «нет»).

Систематич. применение этого метода позволяет формализовывать все более сложные процессы умств. деятельности, что является первым необходимым этапом для их последующей автоматизации.

Большие перспективы для повышения эффективности научной работы имеет проблема информац. симбиоза машины и человека, т. е. непосредств. взаимодействия человека и информационно-логической машины в процессе творчества при решении научных задач.

Лит.: Винер Н., Кибернетика и общество, [пер. с англ.], М., 1958; Эшби У. Р., Введение в кибернетику, пер. с англ., М., 1959; Голдманс., Теория информации, пер. с англ., М., 1957; Автоматы. Сб. ст., под ред. К. Э. Шеннона и Дж. Маккарти, пер. с англ., М., 1956; Ляпунов А. А., О некоторых общих вопросах кибернетики, в сб.: Проблемы кибернетики, вып. 1, М., 1958; Полетаев И. А., Сигнал, М., 1958; Философские вопросы кибернетики, [Сб. статей], М., 1961 (имеется библ.); Биологические аспекты кибернетики. Сб. работ, М., 1962; Проблемы кибернетики. Сб. ст., вып. 1—9, М., 1958—63; Кибернетический сборник. Сборник переводов, [№] 1—5, М., 1960—62.

А. И. Китов.

КИБЕРНЕТИКА ТЕХНИЧЕСКАЯ (engineering cybernetics; cybernetique technique; technische Kybernetik) — наука об управлении техническими системами. Методы и идеи К. т. вырастали

вначале параллельно и независимо в отдельных технич. дисциплинах, относящихся к связи и управлению,— в автоматике, радиоэлектронике, телеуправлении, вычислит. технике и т. д. По мере выяснения общности осн. задач теории и методов их решения формировались положения К. т., образующей единую теоретич. базу для всех областей техники связи и управления.

К. т., как и кибернетика вообще, изучает процессы управления безотносительно к физич. природе систем, в к-рых происходят эти процессы. Центр. задача К. т.— синтез эффективных алгоритмов УУ с целью определения их структуры, хар-к и параметров. Под эффективными алгоритмами понимаются правила переработки входной информации УУ в выходные сигналы управления, к-рые являются успешными в определ. смысле.

К. т. теснейшим образом связана с автоматикой и телемеханикой, но не совпадает с ними, поскольку в К. т. не рассматриваются вопросы конструирования конкретной аппаратуры. К. т. связана также с др. направлениями кибернетики; напр., добытые биологич. науками сведения облегчают разработку новых принципов управления, в т. ч. принципов построения новых типов *автоматов*, моделирующих сложные ф-ции умств. деятельности человека.

К. т., возникшая из потребностей практики, широко использующая математич. аппарат, является сейчас одним из наиболее разработанных разделов кибернетики. Поэтому прогресс К. т. существенно способствует развитию др. ветвей, направлений и разделов кибернетики. Напр., кибернетич. эксперименты, производимые на моделях, помогают при изучении деятельности нервной системы и головного мозга животных и человека.

Значит. место в К. т. занимает теория оптим. алгоритмов или, что по существу то же, теория оптимальной стратегии автоматич. управления, обеспечивающей экстремум нек-рого критерия оптимальности (см. *Оптимальные системы*, *Синтез оптимальных систем*). В различных случаях критерии оптимальности могут быть разными. Напр., в одном случае может потребоваться макс. быстрота переходных процессов, в др.— миним. разброс значений нек-рой величины и т. д. Однако существуют общие методы формулировки и решения самых разнообразных задач этого рода. В результате решения задачи определяется оптим. алгоритм УУ в автоматич. системе, либо оптим. алгоритм распознавания сигналов на фоне шумов в приемнике системы связи и т. д.

Др. важное направление в К. т.— разработка теории и принципов действия систем с автоматич. приспособлением, к-рое заключается в целенаправл. изменении свойств системы или ее частей, обеспечивающем возрастающую успешность ее действий. В этой области имеют большое значение системы автоматич. оптимизации (см. *Оптимизации система*), приводимые *поиском автоматическим* к оптим. режиму функционирования и поддерживаемые вблизи этого режима при непредвиденных заранее внешних воздействиях.

Третьим направлением является разработка теории сложных систем управления, состоящих из большого количества элементов, включающих сложные взаимосвязи частей и работающих в трудных условиях. Большое значение для К.т. имеют теория информации и теория алгоритмов, в частности теория *конечных автоматов*. Теория конечных автоматов занимается синтезом автоматов по заданным условиям работы и в том числе решением проблемы *«черного ящика»* — определением возможной внутр. структуры автомата по результатам изучения его входов и выходов, а также др. проблемами, напр. вопросами осуществимости автоматов определ. типа.

Любые системы управления так или иначе связаны с человеком, к-рый их проектирует, налаживает, контролирует, управляет их работой и использует результаты работы систем в своих целях. Отсюда возникают проблемы взаимодействия человека с комплексом автоматич. устройств и обмена информации между ними. Решение этих проблем необходимо для разгрузки нервной системы человека от напряженной и рутинной работы и обеспечения макс. эффективности всей *системы «человек — автомат»*.

Важнейшая задача К.т.— моделирование все более сложных форм умств. деятельности человека с целью замены человека автоматами там, где это возможно и разумно. Поэтому в К. т. развиваются теории и принципы построения различного рода обучающихся систем, к-рые путем тренировки или обучения целенаправленно изменяют свой алгоритм (см. *Обучающая машина*). Так, построены различные системы, обучающиеся *распознаванию образов*, к-рые после определ. периода обучения могут различать или узнавать определенные объекты. Работают над построением автоматов для решения сложных задач, напр. логических. Такой автомат должен разрабатывать план решения задачи, представлять подход к осн. цели в виде последовательности операций решения вспомогательных (менее сложных) задач, т. е. достижения вспомогат. подцелей. Затем, на основании характерных для задачи признаков, должен производиться выбор возможных методов решения. Наконец, должен осуществляться поиск методов, решающих задачу. На этих идеях, в частности, основано устройство автомата для доказательства теорем Эвклида на плоскости, испытания к-рого показали его работоспособность.

Многие задачи К. т. столь сложны, что само по себе теоретич. исследование не может привести к их решению без участия т. н. кибернетич. эксперимента. Последний осуществляется на разнообразных моделях и математич. машинах (см. *Кибернетическая модель*).

Лит.: Цянь Сюэ-сэнь, Техническая кибернетика, пер. с англ., М., 1956; Кибернетику на службу коммунизма. Сб. статей, под ред. А. И. Берга, т. 1, М.— Л., 1961; Якубайтис Э. А., Основы технической кибернетики, Рига, 1962; см. также лит. при ст. *Кибернетика*.

А. Я. Лернер, А. А. Фельдбаум.

КИБЕРНЕТИКА ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ (electric power system cybernetics; cybernétique des systèmes d'énergie électrique; Kybernetik der elektrischen Energieversorgungs-Systeme) — научное применение кибернетики к решению задач управления электроэнергетич. системами, регулирования их режимов и выявления технико-экономич. хар-к при проектировании и эксплуатации. Отдельные элементы электроэнергетич. (электрич.) системы (ЭС), взаимодействуя между собой, имеют весьма глубокие внутр. связи, не позволяющие расчленить систему на независимые составляющие и при определении ее

хар-к изменять влияющие факторы по одному. Такая сложная система, рассматриваемая в целом, обладает новыми качествами, не свойственными отдельным ее элементам.

ЭС в каждом режиме и при переходе от одного режима к другому имеет следующие общие признаки, характерные для любой кибернетич. системы: 1) наличие цели или алгоритма управления; 2) взаимодействия элементов системы с внешней средой, являющейся источником случайных возмущений (толчки нагрузки у потребителей, систематич. и несистематич. ее изменения, случайные колебания напряжения, атмосферные помехи на линиях передач); 3) необходимость отыскания условий оптимальности действия системы; 4) управление процессами системы на основе сбора, передачи, приема информации и ее последующей обработки; 5) регулирование процессов на основе принципов обратной связи.

По методологии исследований ЭС должна рассматриваться как кибернетич. система, т. к. при ее исследовании применяются обобщающие методы: теория подобия, физическое, математическое, цифровое и логическое моделирование. Для исследования режимов системы и управления ими все шире применяются ЭВМ.

Кибернетике свойственно подходить к изучаемым системам как к *самоорганизующимся системам*, связанным с окружающей их средой нек-рой совокупностью обратных связей. Именно такими системами по мере автоматизации все в большей степени становятся ЭС. Передача и переработка информации, отыскание определ. общности структур в различных явлениях и использование методов подобия и моделирования характерны для кибернетич. системы в ее общем определении и для ЭС в частности.

В ЭС, как кибернетич. системе, можно выделить следующие составные части: схему, информацию, координаты и функцию. Схема отражает строение управляющей системы и состоит из элементов. Между ними существуют определ. связи, обеспечивающие переработку информации и обратное влияние на состояние любого элемента с тем, чтобы должным образом определить и направить режим его работы. В ЭС существует такая схема, определяющая взаимную связь источников энергии и элементов, передающих ее и перерабатывающих, а также и элементов, к-рые преобразуют электрич. энергию в потребляющих установках.



Структурная схема кибернетики электроэнергетич. систем.

Управление ЭС осуществляется на основе получаемой информации, т. е. сбора сведений о режиме всех ее элементов, передачи этих сведений и последующей их быстрой переработки. Информация должна поступать о режиме всех установок, вырабатывающих энергию (турбин и котлов), о состоянии потребителей, которых практически неогранич. количество. Здесь возникают проблемы отбора необходимой информации, учета с разумной (достаточной, но нечрезмерной) точностью изменений хар-к оборудования как при отклонениях режима, так и с течением времени.

Состояние ЭС характеризуют координаты, к-рыми являются параметры элементов системы (активное и реактивное сопротивления, коэфф. трансформации, номин. мощности и напряжения и т. д.) и параметры ее режима (ток, напряжение, частота, активная и реактивная мощности и т. д.). Получая сведения о значении параметров (координат), управляющая система может в соответствии со своими функцион. свойствами воздействовать сама на себя и с помощью тех или иных устройств самоуправляться.

Создание самоуправляющейся ЭС требует алгоритмизации — математич. описания, позволяющего по схеме информации и координатам находить функцион. хар-ку ЭС. Для уточнения параметров элементов ЭС и уточнения математич. описания происходящих процессов необходимо проведение экспериментов методами теории подобия и физич. моделирования.

К К. э. с. относятся задачи синтеза управляющейся и самоуправляющейся системы. Здесь решается общая задача синтеза, при к-рой задан класс ф-ции и полный относительно этого класса набор элементов. Требуется из этих элементов построить управляющую систему с заданной ф-цией. При проектировании, исходя из экономически и технически обоснованных соображений, надо определить оптим. расстановку станций в проектируемой системе, учесть все факторы стоимости вырабатываемой энергии, эффективности капиталовложений, установить влияние данного расположения станций и их типа на отрасли нар. х-ва, учесть вопросы надежности работы системы в целом, стоимости передачи энергии и взвесить все конкурирующие варианты с тем, чтобы найти оптимальный в нар.-хоз. отношении вариант создания электроэнергетической системы с учетом развития народного хозяйства во времени.

Алгоритм должен предусматривать построение такой системы, к-рая автоматически проверяла бы огромное число возможных решений и, проводя оптимизацию, находила наилучший вариант.

При решении задач эксплуатации задаются определенные элементы — котлы, турбины, генераторы, линии передач и нагрузки. Требуется в каждый данный момент времени обеспечить такой режим системы, к-рый давал бы наибольшую экономичность, должное качество электрич. энергии у потребителя и достаточную (но не чрезмерную) надежность функционирования системы.

К. э. с. важна в методич. отношении, т. к. она систематизирует и обобщает подход к исследованию разнообразных процессов ЭС, отыскивая в них общее.

Упомянутые выше задачи должна решать К. э. с., распадающаяся на несколько разделов: 1) теория подобия и моделирования физич. явлений, показывающая, каким образом в каждом физич. явлении найти наиболее общие черты, как нужно ставить эксперимент в ЭС и их элементах и каким образом обрабатывать данные физич. эксперимента или математич. вычислений; 2) применение математич. машин для исследования режимов ЭС и их экономики. Изучаются вопросы методики исследования свойств ЭС и различных процессов, происходящих в них. Исследования ведутся на установках математич. моделирования и ЦВМ, к-рые после подготовки для них программы становятся также своеобразными математич. цифровыми моделями; 3) теория информации о режимах систем. Сюда входит исследование способов получения от системы сведений о ее работе в норм. режиме, когда в системе происходят лишь различные малые отклонения. Для управления и регулирования системы надо иметь определ. сведения об этих отклонениях с тем, чтобы соответствующие регулирующие устройства могли надлежащим образом реагировать на это «дыхание системы». Изучаются способы получения хар-к процессов во время аварий и возможности передачи такой «аварийной информации», изучаются показатели, с помощью к-рых могут обеспечиваться оптим. условия работы системы при необходимом качестве энергии и достаточной надежности работы системы; 4) теория режимов автоматически управляемой сложной системы. В ней изучаются собственно кибернетич. методы управления системой. Не касаясь вопросов конструкции тех или иных регулирующих и управляющих устройств, исследуются методы такого использования информации, к-рые обеспечивали бы наилучшие способы регулирования и управления, включая самонастройку и самоуправление установок. К этому разделу примыкает пятый раздел К. э. с., посвящ. взаимодействию человека и автомата на разных стадиях автоматизации системы.

Лит.: Веников В. А., Кибернетика электрических систем, «ИВУЗ. Энергетика», 1960, № 9; его же, Применение кибернетики в электрических системах, в сб.: Кибернетику на службу коммунизму, под ред. А. И. Берга, т. 1, М.— Л., 1961; Мамонтов О. В., «Э-во», 1962, № 2; Шаханов В. С., «Э-во», 1962, № 3—4. *В. А. Веников.*

КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ (cybernetic simulator; simulateur cybernétique; kybernetisches Modell) — модель со сложным поведением, имитирующая те или иные особенности к.-л. биологич. кибернетич. системы. Известно много К. м., имитирующих обучение: напр., т. н. «мышь Шэннона» «обучается» находить кратчайший путь в лабиринте. Ряд моделей искусств. «черепах», «белок» и т. п. имитирует различные особенности внешнего поведения животных: обход препятствия, движение на свет или на перезарядку аккумуляторов, выработку условных рефлексов на звук или свет и т. п.

Более интересны К. м., к-рые моделируют не внешнее поведение, а те или иные особенности структуры и ф-ций живых организмов. К. м. могут быть реализованы не только в виде спец. технич. устройств, но и в виде программ работы ЦВМ универс. назначения. Так, на вычислит. машине ИБМ-709 была осуществлена модель выработки условного рефлекса. Многими интересными возможностями обладает персептрон — устройство, различающее зрительные образы (см. *Узнающая машина*).

Изучение К. м. существенно для понимания природы моделируемых биологич. процессов. Конструирование К. м. показало, что ряд качеств, казавшихся специфичными для живых организмов, воспроизводится искусственно. Вместе с тем видно, что разработанные К. м. еще очень примитивны по сравнению с живыми организмами. Уже появляются технич. возможности разработки К. м. биологич. сложности, т. е. сравнимых по числу элементарных ячеек с живыми организмами. Конструирование таких К. м. может существенно изменить имеющиеся представления о возможностях К. м. (см. также *Моделирование бионическое*).

Лит.: Сузерленд У. Р., Маггинн М. Дж., Сузерленд И., Электромеханическая модель простых животных, в кн.: Кибернетический сборник. Сб. переводов, № 1, М., 1960. *Ю. А. Шрейдер.*

КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА (cybernetic system; système cybernétique; kybernetisches System) — система управления со сложным поведением и сложной структурой потоков информации, состоящая из очень большого числа элементарных звеньев. В отличие от обычных САР, полное аналитич. исследование динамики К. с. практически невозможно. К К. с. относятся вычислит. машины и системы; системы управления, включающие вычислит. машины, напр. системы с накоплением опыта и обучением; различные биологические системы управления; системы управления в экономике и др. Термин «К. с.» характеризует скорее не сам объект, а способ его изучения и описания. Так, нервную систему человека можно изучать с гистологич. точки зрения, т. е. как перечень различного вида нейронов, но можно изучать и как систему со сложными потоками информации и сложным функционированием.

Аналогично, при конструировании элементов вычислит. машины, она не рассматривается как К. с., но при решении вопросов организации вычислит. машины с точки зрения оптим. производительности или удобства программирования сложных алгоритмов ее приходится рассматривать как К. с.

Естественно отнести к К. с. не только физич. системы, но и сложно организованные алгоритмы, в частности алгоритмы, моделирующие процессы обучения [2], алгоритмы функционирования биологич. систем [3, 4] (см. *Бионика*), модели порождения речи [5] и т. д.

Для описания К. с. характерно введение интегр. хар-к (напр., количество информации, поступающей в систему и циркулирующей внутри системы), использование интегр. критериев качества управления, описание общих структурных св-в системы (иерархия уровней

управлений, система обратных связей, хар-ка информации, циркулирующей между уровнями управления и в каналах обратной связи).

При изучении К. с. существ. роль играет моделирование их с помощью вычислит. машин. Большие возможности для такого моделирования дает, в частности, *Монте-Карло метод*. Моделирование К. с. позволяет выявить ряд качеств. особенностей, к-рые невозможно усмотреть из аналитич. описания. Так, при проектировании новой вычислит. машины весьма эффективным оказывается ее моделирование на одной из работающих машин, что позволяет оценить производительность проектируемой машины при реализации алгоритмов. Моделирование на машине непрерывных тканей [4] позволяет судить, насколько эти «ткани» могут воспроизводить ф-ции живого. Моделирование на машине алгоритмов порождения фраз письм. языка [6] позволяет судить о том, насколько хорошо эти модели описывают процесс речи.

Чрезвычайно важно для К. с. понятие «организации» (см. [1]). Наличие организации в процессе управления проявляется в том, что в каждый момент динамика процесса определяется сравнительно небольшим количеством параметров. Нахождение и хар-ка организации, присущей данной К. с., позволяет рационально строить процесс управления и найти наиболее важные св-ва этой системы. В [1] показано, как нек-рые методы, основанные на поиске организации числовой ф-ции от очень большого числа переменных позволяют эффективно найти ее экстремум.

Такие методы существенны для построения и объяснения многих К. с., т. к. функционирование ряда таких систем сводится к нахождению экстремума нек-рой целевой ф-ции — показателя качества.

В [7] рассмотрен алгоритм, позволяющий искать существ. смысловые хар-ки текста.

Наличие организации в процессе управления в ряде случаев приводит к тому, что в работе К. с. можно выделить этап приспособления к внешним условиям. При этом поступающая информация перекодируется так, что в ней выделяются только существ. переменные. Так, при автоматич. чтении текста первый этап состоит в приспособлении к шрифту и в выделении существ. признаков букв. Иногда этот этап выполняется спец. устройствами, входящими в К. с. и производящими первичную обработку входной информации.

При описании потоков информации в К. с. приходится обращать внимание не только и не столько на количеств. хар-ки этих потоков, сколько на содержание этой информации и характер ее переработки. Содержание этой информации в К. с. в ряде случаев можно описать с помощью спец. языков. Большое развитие получили языки обобщенного программирования. Одним из первых таких языков был язык операторного программирования. Существует ряд языков программирования — *Алгол*, *Кобол*, *Фортран* — использующих средства естеств. языков. Языки программирования удобны для передачи информации в К. с. «человек — вычислительная машина». Др. примером языков, используемых в К. с., служат *информационные языки*.

В науке все шире используется описание различных объектов как К. с., а успехи совр. микрорадиоэлектроники, математики и кибернетики позволяют конструировать все более сложные К. с.

Лит.: 1) Гельфанд И. М. и Цетлин М. Л., О некоторых способах управления сложными системами, «УМН», 1962, т. 17, вып. 1 (103); 2) Буш Р. и Мостеллер Ф., Стохастические модели обучаемости, пер. с англ., под ред. Ю. А. Шрейдера, М., 1962; 3) Винер Н. и Розенблют А., Проведение импульсов в сердечной мышце, в кн.: Кибернетический сборник. Сб. переводов, № 3, М., 1961; 4) Гельфанд И. М. и Цетлин М. Л., О континуальных моделях управляющих систем, «ДАН СССР», 1960, т. 131, № 6; 5) Ревзин И. И., Модели языка, М., 1962; 6) Шрейдер Ю. А., Машинный перевод на основе смыслового кодирования текстов, «Научно-технич. информ.» 1963, № 1; 7) Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло), под ред. Ю. А. Шрейдера, М., 1962.

Ю. А. Шрейдер.

КИНЕСКОП (kinescope; cinéscope; Fernseh-Bildröhre, Bildwiedergaberöhre) — приемная ЭЛТ, применяемая в телевизорах для преобразования электрич. телевизионных сигналов в видимое изображение.

КИПП-РЕЛЕ (kipp relay; relais basculant; Kipprelais, monostabile oder bistabile Multivibratorschaltung) — см. *Спусковая схема*.

КЛАПАН (valve; vanne; Ventil) — элемент гидравлич. или пневматич. передачи, устанавливаемый на пути движения рабочей жидкости (газа) или присоединяемый к магистрали для стабилизации, уменьшения, ограничения величины давления или направления потока и др. Особенность К. в том, что геометрич. размеры его рабочего окна или их число изменяются от воздействия потока рабочей жидкости (газа). Все К. можно разбить на нерегулируемые и регулируемые, в к-рых геометрич. размеры рабочих окон или их число зависят не только от параметров потока жидкости, но и от воздействия извне. К. бывают: 1-каскадные (К. прямого действия) и 2-каскадные (К. косвенного действия). В 2-каскадных К. рабочее окно изменяется потоком жидкости (газа) через промежуточный гидравлич. усилитель мощности. Можно выделить К.: переливные, редукционные, предохранительные, обратные и переключающие.

Переливной К. поддерживает в рабочем диапазоне расхода давление рабочей жидкости на входе практически постоянным за счет непрерывного слива ее в бак или магистраль низкого давления. При сравнительно небольших расходах (до 10 *л/мин*) обычно пользуются однокаскадными переливными К. (рис. 1,*а*). Действие К. основано на равновесии сил, развиваемых давлением жидкости на торцовой поверхности золотника (или шарика) и деформацией пружины *4*. При нарушении указанного равновесия изменяется площадь поперечного сечения рабочего окна *3*, образованного кромками корпуса *1* и золотника *2*, а вместе с тем и количество сливаемой жидкости. В результате, давление под торцом золотника почти не изменяется. Точность поддержания давления К. определяется жесткостью пружины и крутизной расходной хар-ки рабочего окна. Погрешность К. часто называется статизмом по расходу. Величину давления можно изменять, деформируя пружину *4* гайкой *5*. Однокаскадные переливные К. просты в конструктивном отношении, имеют небольшой вес и габариты. Однако они имеют статизм по расходу и их рабочие элементы (особенно шарики) склонны к высокочастотным автоколебаниям (вибрации).

От этих недостатков в значительной степени свободен двухкаскадный переливной К. (рис. 1,*б*), действие которого основано на равновесии сил, развиваемых давлением жидкости на торцах золотника *4*. При увеличении давления в напорной магистрали (камера *1*) сила, действующая на золотник *4* вверх, увеличивается, а сила, направленная

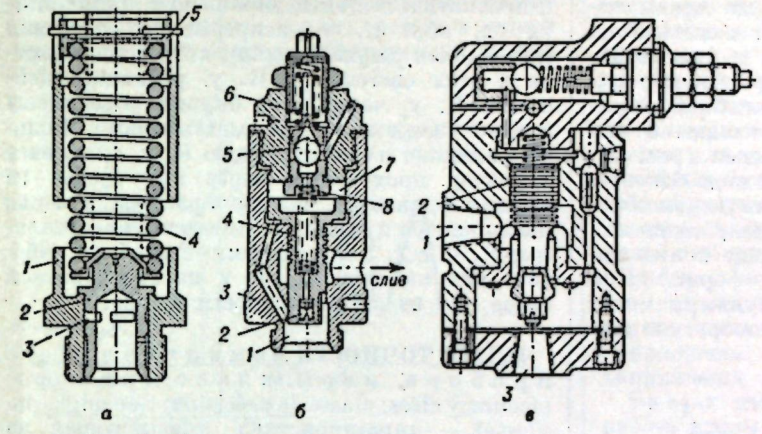


Рис. 1. Клапаны: *а* — однокаскадный; *б* — двухкаскадный переливной; *в* — двухкаскадный редукционный.

вниз, остается неизменной за счет стабилизации давления в камере *7* шариковым клапаном *5*. В результате, золотник *4* перемещается вверх, перепуская жидкость на слив и уменьшая тем самым давление в напорной магистрали. Постоянный дроссель *2* служит для ограничения скорости перемещения золотника в корпусе *3*, а вместе с тем и для демпфирования его переходного процесса. Расход жидкости через этот дроссель определяется жесткостью и деформацией пружины *8*. Величина давления, поддерживаемого К., зависит от деформации пружины *6* шарикового клапана.

Редукционный К. поддерживает в рабочем диапазоне постоянство давления жидкости на выходе. Обычно он подключается к гидросистеме (в к-рой давление поддерживается постоянным переливным К.) с целью поддержать более низкое давление в другой, отличной от первой, системе и исключить применение второго насоса. Действие редукционного К. во многом аналогично действию переливного К., но изменение давления в напорной магистрали *1* (рис. 1, *в*) почти не меняет равновесия сил на золотнике *2*. В то же время, увеличение или уменьшение давления в выходной камере *3* вызывает перемещение золотника в таком направлении, чтобы это давление не изменялось.

Предохранительный К. препятствует повышению давления рабочей жидкости на входе сверх допустимого, путем ее единовременного слива. По принципу действия, а в ряде случаев и по конструкции, предохранит. К. аналогичны переливным. Однако первые работают кратковременно, иногда с акустич. эффектом, вторые работают непрерывно, а поэтому должны быть бесшумными. Принципиальная схема предохранит. К. дана на рис. 2. При возникновении в системе давления, превышающего заданное, давление жидкости

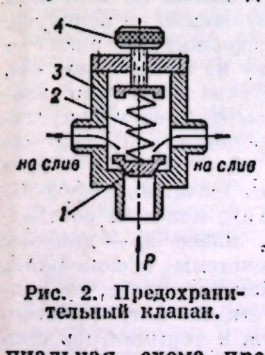


Рис. 2. Предохранительный клапан.

на клапан *1*, действующее снизу, становится больше усилия пружины *2*, и клапан *1* приподнимается. В этот момент рабочая жидкость, подаваемая насосом в линию нагнетания системы, перетекает через боковые окна в корпусе *3* на линию слива, и дальнейший рост давления прекращается. Осн. параметром, характеризующим настройку клапана, является величина заданного давления (давления срабатывания), устанавливаемого регулировочным винтом *4*, имеющимся в крышке. Увеличение начального натяжения пружины *2* приводит к повышению давления срабатывания. При эксплуатации К. иногда возникают колебания его, устраняемые демпфированием. Обратный К. пропускает поток жидкости только в одном направлении и не допускает ее обратного движения. По принципу действия, обратный К. аналогичен однокаскадному переливному К. (рис. 1,*а*). Единственным его отличием является малая жесткость пружины. Поэтому обратный К. почти не оказывает сопротивления потоку жидкости в направлении его движения. При возникновении движения жидкости в обратном направлении рабочее окно К. закрывается и движение жидкости прекращается. Переключающий К. должен при определ. изменении давления соединять магистрали в иных комбинациях.

Лит.: Ступак Б. Ф., Элементы гидроприборов, в сб.: Системы устройства и элементы пневмо- и гидроавтоматики, М., 1959; Ермаков В. В., Основы расчета гидропривода, М., 1951.

И. М. Крассов, В. А. Хохлов.

КЛАПАН РЕГУЛИРУЮЩИЙ (regulating valve; vanne de réglage; Regelungsventil) — регулируемый клапан, изменяющий расход жидкости (газа), к-рая поступает в объект регулирования или отводится из него. Простейший К. р. дан на рис. 1. Шток *2* перемещается исполнит. элементом (сервомотором) системы автоматич. управления и совершает поступат. или вращат. движение. К. р. представляет собой изменяемое гидравлич. сопротивление с перем. площадью проходного сечения от нуля (при посадке плунжера *1* в седло *3*) до максимума (при полностью открытом клапане) и с перем. коэфф. местного сопротивления, ибо скорость потока меняется по величине и направлению.

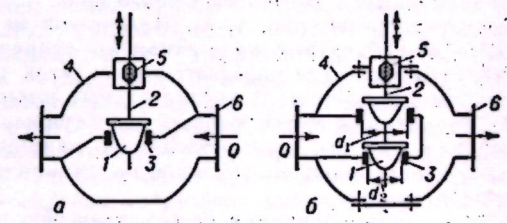


Рис. 1. Принципиальные схемы регулирующих клапанов: *а* — односедельного; *б* — двухседельного; *1* — плунжер; *2* — шток; *3* — седло; *4* — корпус с уплотнением; *5*, *6* — фланцы для крепления к трубопроводу.

Наиболее часто К. р. сочленяется с пневматич. исполнит. механизмами и обычно составляет с ними конструктивно один общий узел,

который в этом случае наз. пневматич. К. р. В таком комплекте К. р. выпускаются промышленностью.

Основные хар-ки К. р.: конструктивная, отражающая зависимость площади проходного сечения клапана от перемещения плунжера, и расходная — зависимость расхода среды через клапан при пост. перепаде давлений на клапане (при идеальной хар-ке) и при перем. действительном перепаде (при рабочей хар-ке). Выполняются К. р. с прямолинейной, логарифмич. и параболич. конструктивными или идеальными расходными хар-ками (рис. 2). Для получения хар-ки нужного вида боковую поверхность плунжера соответствующим образом профилируют. Для этого также седло или плунжер часто выполняют в виде полых цилиндров с окнами заданной формы. При этом плунжеры могут иметь поворотное движение.

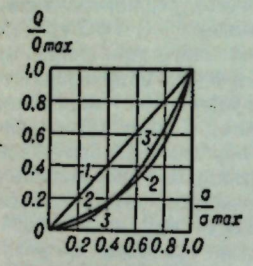


Рис. 2.

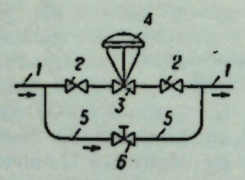


Рис. 3.

Рис. 2. Идеальные расходные хар-ки регулирующих клапанов: *1* — линейная; *2* — логарифмическая; *3* — параболическая; Q_{max} — макс. расход среды через клапан при его полном открытии; σ_{max} — максимальное перемещение плунжера.

Рис. 3. Схема установки регулирующего клапана на объекте регулирования.

Наиболее важна статическая рабочая расходная хар-ка К. р., от формы к-рой зависит возникновение нелинейностей в САР. На вид рабочей расходной хар-ки влияет величина гидравлич. сопротивления линии до и после К. р.

Различают К. р. односедельные (рис. 1, *а*) и двухседельные (рис. 1, *б*). Недостаток первых — вся нагрузка на клапан со стороны жидкости или газа передается через шток на исполнит. механизм. В двухседельных клапанах проходящая среда обтекает два плунжера, создавая на них противоположно направл. силы, и неуравновеш. усиление на штоке становится малым.

К. р. устанавливаются на объектах регулирования с учетом возможности замены клапана без прекращения эксплуатации объекта. Для этого применяется стандартная схема установки (рис. 3), в к-рой на трубопроводе *1* ставятся запорные вентили *2* до и после К. р. *3* с исполнит. механизмом *4*. Одновременно имеется обводная линия *5* с регулирующим органом *6*, управляемым от руки. Закрытием вентилей клапан временно выключается из работы, а воздействие на объект осуществляется ручным регулирующим органом. *И. М. Крассов.*

КЛАПАН УПРАВЛЯЮЩИЙ (control valve; vanne de commande; Steuerventil) — регулируемый клапан, служащий управляющим органом системы автоматич. управления и регулирования. По характеру изменения управляемой величины на выходе К. у. могут быть релейного и непрерывного действия. В первом случае выходная величина изменяется скачком от миним. до макс. значений или наоборот, а во втором — непрерывно. Характер действия К. у. определяется исполнит. механизмом, приводящим клапан в действие, и конструкцией самого клапана. При электрич. управлении клапаны, обычно приводимые в действие исполнит. механизмами типа соленоида, имеют релейную хар-ку. При гидравлич. и пневматич. системах управления применяются гл. обр. К. у. непрерывного действия (см. *Клапан регулирующий*), хотя используются в этих системах и К. у. релейного действия. К. у. чаще всего бывают объединены в один узел с исполнит. механизмами. Большое влияние на конструкцию К. у. оказывает характер проходящей через них среды, ее темп-ра и давление, величина расхода, а также число входов и выходов. Имеются универсальные К. у. с 2, 3 и 4 входами, способные работать как на жидкой, так и на газообразной среде или на смеси жидкости и газа.

И. М. Крассов.

КЛАСС ТОЧНОСТИ измерительного прибора, меры (класс прибора) (accuracy class; classe de précision; Genauigkeitsklasse) — характеристика, указывающая на принадлежность прибора (меры) к группе приборов (мер) данного вида, удовлетворяющих определ. требованиям к точности их показаний. Требования к точности приборов, лежащие в основе разделения различных видов приборов (мер) на К. т., а также обозначения этих классов устанавливаются стандартами на эти виды приборов. Для отдельных видов приборов существуют рекомендации Международной электротехнической комиссии по разделению их на К. т. В СССР К. т. установлены для большинства измерит. приборов и мер, в т. ч. для большинства электроизмерит. приборов и мер, весоизмерит. приборов, приборов теплового контроля, приборов (мер) для линейных и угловых измерений и др. В основу разделения на К. т. положены предельные значения допустимых погрешностей.

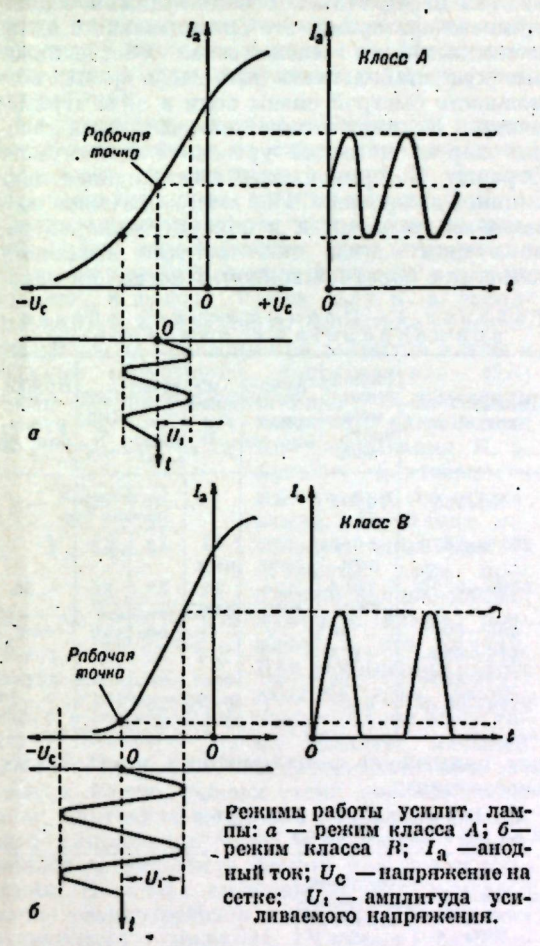
Приборы (меры), для к-рых стандартами установлены К. т., должны иметь на шкале, маркировочной табличке или в документе, сопровождающем прибор (меру), обозначение их К. т. Широко распространена система обозначений К. т., в к-рой число, обозначающее К. т., равно предельно допустимому значению основной погрешности прибора, выраж. в процентах (показывающие электроизмерит. приборы, манометры и др.). Так, основная погрешность манометра класса 1,5 не должна превышать $\pm 1{,}5\%$.

Для весоизмерит. приборов условное обозначение К. т. также указывает на величину допустимой погрешности, однако не непосредственно. Обозначение содержит два знака — цифру (от 0 до 5) и одну из букв — «а», «б», «в», напр.: 3а или 0б. Буква обозначает значащую цифру в числе, выражающем допустимую погрешность в процентах, причем «а» соответствует цифре 1, «б» — 2 и «в» — 3, а цифра — место, к-рое эта значащая цифра занимает после запятой. Так, класс 3а соответствует допуску 0,001%, класс 0б — допуску 2%. Применяются и системы обозначений, в к-рых цифра, обозначающая класс, не связана с величинами допустимых погрешностей. Так, для норм. элементов и термометров сопротивлений стандартами установлены классы, обозначаемые I, II и III. Меры и приборы для измерения длин и углов делятся на классы,

обозначаемые 0; 1; 2; 3, причем в зависимости от вида прибора классам, имеющим одинаковое обозначение, соответствуют разные по величине допустимые погрешности.

М. И. Левин, А. М. Любарская.

КЛАССЫ УСИЛЕНИЯ (amplification classes; classes d'amplification; Verstärker-Betriebsarten) — режим работы усилит. лампы в зависимости от доли периода усиливаемых колебаний, в течение которой через лампу усилителя течет ток. Анодно-сеточная хар-ка электронной лампы имеет линейный и нелинейные участки. Поэтому подаваемое на сетку напряжение может находиться либо в пределах линейной части хар-ки либо выходить за ее пределы. Это зависит от положения рабочей точки и амплитуды входного напряжения на сетке лампы. Если изменение входного напряжения происходит в пределах прямолинейного участка анодно-сеточной хар-ки, то такой вид работы называется режимом класса *A* (рис., *а*). В этом случае искажения сигнала малы, однако отдаваемая мощность и кпд также невелики. Причина этого в том, что среднее значение анодного тока относительно велико. Мощность, рассеиваемая на аноде лампы, большая, а колебательная мощность по сравнению с ней мала, а значит мал и кпд.



Режимы работы усилит. лампы: *а* — режим класса *A*; *б* — режим класса *B*; I_a — анодный ток; U_c — напряжение на сетке; U_t — амплитуда усиливаемого напряжения.

Часто необходимо выбирать рабочую точку в начале хар-ки и подавать входное напряжение такой величины, чтобы усиливались только положит. полуволны напряжения. Этот режим наз. классом *B* (рис. *б*). Если сравнить этот режим с режимом класса *A*, то окажется, что при одинаковых входных напряжениях среднее значение анодного тока и рассеиваемая на аноде мощность в классе *B* меньше, чем в классе *A*. Т. о., класс *B* характеризуется бо́льшим значением кпд. Однако при этом перем. сеточное напряжение попадает на нелинейную часть хар-ки, что вызывает значительные нелинейные искажения усиливаемого сигнала. Практически полное устранение нелинейных искажений при сохранении основного преимущества класса *B* — высокого кпд, реализуется в *двухтактных схемах*. В однотактных схемах для увеличения кпд и уменьшения нелинейных искажений применяется промежуточный режим усиления (класс *AB*), при к-ром входной сигнал лишь частично попадает на нелинейный участок хар-ки. В режиме класса *C* рабочая точка устанавливается в той области, где лампа заперта. При этом усиливается только часть положит. полуволны сеточного напряжения. Вся остальная часть входного напряжения отсекается.

Во всех рассмотренных режимах возможна работа лампы как с сеточными токами (при достаточно большой амплитуде входного сигнала), так и без них. Если сеточных токов лампы нет, то к буквенному обозначению класса усиления приставляют индекс «1» (напр., класс A_1 — режим класса *A* без сеточных токов). Если лампа работает с сеточными токами, то используется индекс «2» (напр., B_2 — режим класса *B* с сеточными токами).

Лит.: Цыкин Г. С., Электронные усилители, М., 1960.

Е. Ю. Намиот.

КЛИРФАКТОР (distortion factor; facteur de distorsion; Klirrfaktor) — параметр, служащий для количеств. оценки величины нелинейных искажений при передаче звуковых и электрич. сигналов. При оценке нелинейных искажений, вносимых усилителями электрич. сигналов, вместо термина «К.» пользуются термином коэфф. *нелинейных искажений*. Термин «К.» выходит из употребления. *Л. Н. Капцов.*

КЛИСТРОН (klystron; clystron; Klystron) — наименование обширного класса усилит., генераторных и умножит. электронновакуумных приборов диапазона СВЧ, в к-рых для преобразования постоянного электронного потока (ЭП) в переменный применяется возбуждение в этом потоке волн пространств. заряда. Такой метод управления ЭП, в отличие от применяемого в *триодах* и *тетродах*, позволяет получить высокие значения коэфф. усиления и кпд вплоть до диапазона миллиметровых волн. Отличие К. от *лампы бегущей волны* заключается в том, что пре-

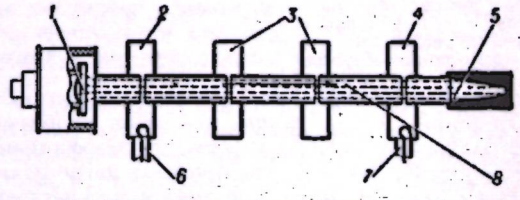


Рис. 1. Конструкция (схема) пролетного клистрона: *1* — электронная пушка; *2* — входной резонатор; *3* — промежуточные резонаторы; *4* — выходной резонатор; *5* — коллектор; *6* — вход (ввод энергии); *7* — выход (вывод энергии); *8* — электронный поток.

образование ЭП в К. происходит на участках, свободных от ВЧ полей. Существуют приборы промежуточного типа между К. и лампами бегущей волны.

Прямопролетные К. (рис. 1 и 2) имеют несколько (не менее двух) резонаторов, к-рые пронизывает ЭП, создаваемый электронной пушкой и собираемый на коллекторе. Длинный ЭП фокусируется продольным пост. магнитным полем, создаваемым соленоидом, а в более совершенных образцах — системой пост. магнитов; имеются образцы К., не требующие магнитного поля (с электростатической фокусировкой ЭП).



Рис. 2. Мощный клистрон: слева — в сборе (виден соленоид); справа — без внешней арматуры резонаторов (видны керамич. впаи).

Однородный по плотности и скорости ЭП (если пренебречь шумами) во входном резонаторе периодически ускоряется и тормозится полем входного сигнала, которое тратит на это мало энергии. Далее происходит группирование электронов: по ЭП распространяется волна — ускоренные электроны догоняют приторможенные. Сгруппированный ЭП возбуждает выходной резонатор, отдавая ему часть энергии, передаваемой затем в нагрузку; остаток энергии рассеивается в виде тепла на коллекторе. Промежуточные резонаторы (не связанные с нагрузкой) возбуждаются частично сгруппированными ЭП, отбирая мало энергии, их поля оказывают вторичное группирующее действие; подбирая их настройку, можно улучшать коэффициент усиления К., его кпд, увеличивать ширину его полосы пропускания. При умножении частоты выходной резонатор настраивается на частоту требуемой гармоники. Поскольку в сгруппированном ЭП амплитуды гармоник с ростом порядкового номера уменьшаются медленно, К. служит эффективным умножителем большой кратности.

Отражат. К. (рис. 3) имеет один резонатор, дважды пронизываемый ЭП, который отбрасывается обратно отражателем, имеющим отрицат. относительно катода потенциал. Отражат. К. обычно работает только в режиме самовозбуждения и имеет низкий кпд. Частоту его автоколебаний можно в небольших пределах изменять без перестройки резонатора, изменяя лишь потенциал отражателя (электронная настройка), который влияет на условие баланса фаз.

Прямопролетные К. применяют в многокаскадных передатчиках с маломощными задающими генераторами; это сравнительно с одно-каскадными на *магнетронах* обеспечивает высокую стабильность частоты и фазы, возможность быстрой смены волн и т. п. Применяемые К. имеют линейные частотные фазовые хар-ки и малый уровень собст. шумов. Отражат. К. применяются в гетеродинах приемников диапазона СВЧ с *автоматической подстройкой частоты* и в измерит. аппаратуре; во втором случае они частично вытеснены лампами с обратной волной. Иногда они находят применение в маломощных портативных передатчиках.

Таблица 1.— Промышленные образцы прямопролетных клистронов.

Диапазон частот, *Мгц*	Выходная мощность, *квт*	Анодное напряжение, *кв*	Анодный ток, *а*	Коэфф. усиления, *дб*	Кпд, %	Полоса пропускания, %
375—425	10000 имп.	—	—	—	—	—
2730—2870	5000 имп.	125 имп.	93 имп.	43	42	5
8500—9600	1000 имп.	120 имп.	42 имп.	30	20	0,25
400—600	50	—	—	50	40	—
470—685	11,5	12	2,8	35	34	1,5
7125—8500	20	—	—	50	—	0,4
9790—9810	0,01	1	0,15	25	7	—

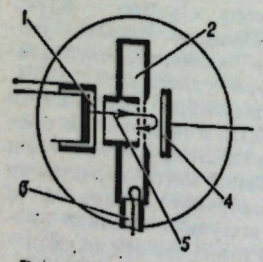


Рис. 3. Конструкция (схема) отражат. клистрона: *1* — электронная пушка; *2* — резонатор; *3* — вывод энергии; *4* — отражатель; *5* — электронный поток.

Таблица 2.— Промышленные образцы отражательных клистронов.

Диапазон длин волн, *см*	Выходная мощность, *мвт*	Анодное напряжение, *в*	Диапазон электронастройки, *Мгц*	Назначение
3,1—3,5	30	300	30	приемная аппаратура
0,86—0,88	18	400	95	приемная аппаратура
6—12	150	250	—	измерит. аппаратура
1,93—3	10	650	—	измерит. аппаратура
4,7—5,1	*вт* 1,5	750	50	передающая аппаратура
3,5—4,2	1,6	750	25	передающая аппаратура

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960, гл. 15; Нейман М. С., Курс радиопередающих устройств, ч. 2, М., 1958, § 6; Клистроны, пер. с англ., М., 1952; Кукарин С. В., Современное состояние и тенденции развития электронных приборов СВЧ, М., 1962.

Е. Д. Науменко.

КЛИСТРОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ (klystron amplifier; amplificateur à clystrons; Klystron-Verstärker) — см. *Усилитель сверхвысокой частоты.*

КЛЮЧ ЭЛЕКТРОННЫЙ в АВМ (analogue computer electronic gate; clé électronique pour calculateur analogique; elektronischer Schlüssel für eine Analogie-Rechenmaschine) — электронный коммутирующий элемент. Предназначен: 1) для управления работой интегрирующих усилителей (ИУ) в АВМ с периодизацией решения; 2) для подключения входных напряжений к многократно используемой системе и выходных напряжений этой системы к ЗУ; 3) для измерения мгновенных значений напряжений, образующихся на выходах схем математич. моделирования; 4) для переключения блоков в схемах математич. моделирования при изменении масштабов или смене ур-ний, а также во время-импульсных схемах перемножения и усилителях с малым дрейфом нулевого уровня для модуляции и демодуляции напряжений.

По принципу действия электронные ключевые схемы делятся на схемы параллельного, последоват. и смешанного типа. В схемах параллельного типа (рис. *а*) закрытый К. э. замыкает коммутируемое напряжение на «землю» через сопротивление; при открывании К. э. входное напряжение поступает в схему, подключ. к выходу ключа. Для К. э. параллельного типа характерно отсутствие нулевого выходного напряжения при закрытом ключе и высокое «проходное» сопротивление ($2R$) схемы ключа; длительность фронта изменения выходного напряжения при закрывании К. э. меньше длительности фронта при его открывании. В схемах последоват. типа (рис. *б*) открытый ключ пропускает входное напряжение к схеме, подключ. к его выходу. При закрывании ключа входная цепь разрывается. Схема этого типа обладает меньшей погрешностью при закрытом ключе, нежели схема параллельного типа; длительность фронта изменения выходного напряжения при открывании ключа меньше длительности фронта при его закрывании. В схемах смешанного типа длительность обеих фронтов изменения выходного напряжения одинакова. Частным случаем К. э. последоват. типа является схема разрядного ключа. Она включается параллельно конденсатору в цепи обратной связи ИУ и используется для разряда конденсатора при возврате схем интегрирования к исходному состоянию.

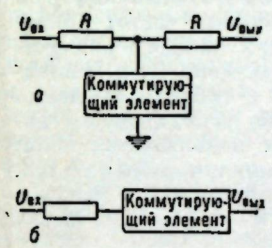


Схема электронного ключа: *а* — параллельного типа; *б* — последовательного типа.

По типу применяемых элементов ключевые схемы делятся на ПП и электронно-ламповые. Каждая из схем может использовать диоды и триоды. Входные напряжения ключевых схем могут изменяться как в полных пределах изменения напряжений в АВМ (± 100 *в*), так и в небольших пределах, если ключевая схема включена в цепь сетки операц. усилителя. В последнем случае целесообразно использовать ПП элементы. Применение триодов в электронных ключевых схемах приводит к нелинейности хар-к ключа, так что триоды целесообразно применять лишь в схемах с пост. входным напряжением, в разрядных ключевых схемах и внутри цепей, охваченных отрицат. обратной связью. Для управления ключевыми схемами используются триггерные элементы, работающие в соответствии с заданной программой или дополнит. условиями.

Погрешности электронных ключевых схем — 0,1—1%. Осн. источники погрешности: наличие напряжения на выходе запертого ключа; неодновременность срабатывания ключевых схем; зависимость коэфф. передачи ключевой схемы от величины входного напряжения и «проникание» сигналов управления на выход схемы К. э. *Н. М. Витенберг.*

КЛЮЧИ УСТРОЙСТВ ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ (remote-control device keys; clés de dispositifs de télécommande; Schlüssel von Fernsteuergeräten) — ручные переключатели на два или более положений для замыкания и размыкания цепей управления и сигнализации на командном (диспетчерском) пункте. По функциональному назначению К. у. т. подразделяются на командные ключи (или ключи управления), квитирующие и командно-квитирующие. Первые предназначены для образования цепей набора команды управления, а вторые — для квитирования приходящих на командный пункт сигналов.

Командно-квитирующий ключ совмещает в себе ф-ции набора команд управления и квитирования сигналов о выполнении этих команд. Устанавливается на пульте управления и является элементом (символом) мнемосхемы пульта. В качестве командно-квитирующего ключа может быть использован квитирующий ключ. *К. Г. Митюшкин.*

КНОПКА (push-button; bouton-poussoir; Kontakt-Druckknopf) — электрич. командный аппарат, состоящий из кнопочного (контактного) и приводного элементов и предназначенный в основном для ручного *дистанционного управления* электромагнитными аппаратами. К. применяются в цепях перем. тока с напряжением не более 660 *в* и пост. тока — не более 440 *в*. Бывают двух типов: моноблочные, у к-рых контактный элемент и привод смонтированы в едином блоке, и двухблочные, у к-рых привод (толкатель, рукоятка, замок с ключом) устанавливается на отдельной плите, а кнопочный элемент монтируется на основании под приводным элементом. К. могут иметь от 2 до 8 контактов, причем количество нормально открытых контактов обычно равно количеству нормально закрытых. После того, как нажатие на приводной элемент прекращается, он совместно с контактами под действием возвратных пружин приходит в исходное положение. Существуют К. без самовозврата — с механически или электромагнитно управляемой защелкой. В совр. конструкциях К. применяются подвижные контакты мостикового типа с двойным разрывом цепи. Материалом контактов служит серебро, металлокерамич. композиции или медь. Ток продолжит. режима и коммутируемый перем. ток не превышают 10 *а*. Усилие нажатия на привод К. — 0,5—2 *кг*. В целях безопасности работы толкатели К., выполняющие команду «стоп», выступают на 3—5 *мм* над уровнем крышки пульта, где они установлены, а К., выполняющие команду «пуск», утоплены на то же расстояние.

По степени защиты от влияния окружающей среды различают К. открытого, защищенного и пылеводозащищенного исполнения. Несколько К., встроенных в одну оболочку или установл. на одной крышке, образуют кнопочный пост (станцию). *Э. Б. Рачев.*

КНОПОЧНЫЙ ПУСКАТЕЛЬ (push-button starter; démarreur à bouton-poussoir; Druck-

knopf-Anlasser, Druckknopf-Auslöser)—аппарат ручного управления, предназнач. для пуска и останова асинхронных электродвигателей мощностью до 5—7 *квт* при напряжении до 380 *в*. Приводом К. п. обычно служат две кнопки, одна из к-рых воздействует на пружинно-рычажный защелкивающий механизм, управляющий замыканием контактов, а вторая — на механизм расцепителя, освобождающего защелку. С механизмом расцепителя могут быть связаны тепловые реле, к-рые при перегрузках электродвигателя вызывают срабатывание механизма расцепителя и размыкание контактов. К. п. могут быть однофазными или трехфазными, а по роду защиты от влияния окружающей среды—открытые, защищенные и пылеводозащищенные. Контактная система обычно выполняется мостиковой с двойным разрывом электрич. цепей при размыкании контактов. Контакты К. п. обычно разделены межфазными перегородками или заключены в небольшие дугогасит. камеры. Все детали корпуса и оболочки, как правило, изготавливаются из пластмассы, материал контактов — серебро или металлокерамич. композиции. Износоустойчивость К. п. в норм. режиме (включение неподвижного и отключение вращающегося электродвигателя) составляет от 5 тыс. до 1 млн. переключений. Допускаемая частота включений при номинальной нагрузке не превышает 20—60 включений в час.

Э. Б. Росачев.

КОАКСИАЛЬНАЯ ЛИНИЯ (coaxial line; ligne co-axiale; Koaxialleitung) — электрич. линия, образованная двумя концентрически (коаксиально) располож. круглыми проводниками. Внутренним проводником К. л. служит одно- или многожильный провод, внешним — круглая металлич. труба. Внутренний провод поддерживается изолирующими шайбами либо изоляционным материалом, к-рым заполняется все пространство между проводами. К. л. является несимметричной длинной линией, т. к. ее внешний проводник обычно заземляется. В К. л. практически не происходит излучения энергии в окружающее пространство, что является одним из ее преимуществ перед *двухпроводной линией*. К. л. широко используются в УКВ диапазоне как линии связи для передачи сигналов ТУ, ТИ, ТС, телевиз. сигналов, телефонной и фототелеграфной связи и др. В радиоаппаратуре УКВ диапазона они служат для связи антенны с приемником и передатчиком. Отрезки К. л. применяются в радиоаппаратуре в качестве резонансных контуров и согласующих тр-ров.

К. л. является электрич. цепью с распределенными постоянными и характеризуется след. параметрами, отнесенными к единице длины линии: последоват. сопротивлением R_1, последоват. индуктивностью L_1 и параллельными им емкостью C_1 и проводимостью G_1. К. л. называется однородной, если ее параметры остаются неизменными по всей длине линии. Величины распредел. постоянных К. л. зависят от соотношения диаметров ее внутр. d и внешнего D проводников. Индуктивность на единицу длины К. л.

$$L_1 = 0{,}46 \lg \frac{D}{d}\ мкгн/м;$$

$$C_1 = \frac{24{,}1\varepsilon}{\lg \frac{D}{d}}\ пф/м,$$

где ε — относительная диэлектрическая постоянная изоляционного материала, к-рым заполнено пространство между наружным и внутр. проводниками К. л.; для воздуха $\varepsilon = 1$. Сопротивление на единицу длины для К. л. из медных проводников

$$R_1 = \frac{8{,}4}{D}\sqrt{f}\left(\frac{D}{d} - 1\right) мком/м,$$

где d — внешний диаметр внутреннего проводника К. л. в *см*; D — внутренний диаметр наружной трубы К. л. в *см*; f — частота колебаний, передаваемых по К. л. в герцах. Волновое сопротивление К. л.

$$W = \frac{138}{\sqrt{\varepsilon}} \lg \frac{D}{d}.$$

При передаче электромагнитной энергии по К. л. имеют место потери в омич. сопротивлении ее проводов, сопротивлении утечки между проводами и в диэлектрике, заполняющем внутреннюю полость линии. Величина этих потерь возрастает с увеличением частоты передаваемых сигналов. Она характеризуется коэфф. затухания β, являющимся нелинейной ф-цией частоты. Обычно величина β в *дб/м* для ряда фиксированных частот приводится в справочниках для каждого конкретного типа К. л. Конструктивно К. л. выполняются в виде жестких и гибких коаксиальных кабелей. В качестве заполняющего диэлектрика в гибких К. л. используется полиэтилен, диэлектрик с малыми потерями и $\varepsilon = 2{,}3$. Волновое сопротивление пром. К. л. лежит в пределах 50—100 *ом* (РК—1; $W = 82$—92 *ом*; РК—3; $W = 75$ *ом*).

Лит.: Ассеев Б. П., Основы радиотехники, М., 1947.

Ю. В. Любченко.

КОБОЛ (kobol; kobol; Kobol)— обобщенный язык для описания учетно-экономич. и управленч. задач. Создан в США по заказу военного ведомства в 1958—60 гг. и широко применяется для программирования деловых операций большинством фирм и правительств. учреждений США. К. обеспечивает наглядную и достаточно компактную запись алгоритмов в форме, независимой от конкретных машин, предназначенных для решения задач. По сравнению с *алголом* обладает бо́льшей близостью к обычному языку деловых операций. В нем возможны, напр., такие выражения: «Прочитать разделительную карту», «В конце массива перейти к окончанию вычислений».

Программа на языке К. имеет четыре осн. части: алгоритмическую часть, описание данных, машинную часть и пояснительную часть.

Алгоритмич. часть определяет порядок счета; она содержит все расчетные ф-лы. Описание данных играет осн. роль при решении экономич. задач; по объему она может быть значительно больше, чем алгоритмич. часть. Сюда относится описание входных и выходных величин, рабочих ячеек и констант. Данные задаются стандартным образом с определ. наименованиями: раздел описаний массивов и предложений (массивы делятся на предложения), раздел описаний рабочих ячеек, раздел описаний констант.

В машинную часть входят описание состава оборудования, используемого в процессе выработки рабочей программы и в процессе счета, а также способов ввода и вывода, определяющих связи машины с внешними устройствами. В частности, определяются т. н. точки

повторных вводов данных, с к-рых могут быть возобновлены вычисления при перерывах или ошибках.

Поясним. часть содержит нек-рые дополнит. сведения, не влияющие на выработку рабочей программы, но необходимые для удобства чтения алгоритма.

Особенностью К. является то, что одно и то же наименование (идентификатор) в различных местах программы может обозначать разные величины. Это обеспечивается указанием класса данных, к к-рому относится это наименование. Величины, обознач. наименованиями, могут быть индексированными, т. е. иметь ряд значений, соответствующих значениям индексов.

Алгоритм задается последовательностью операторов. Подобно предложениям естеств. языка отдельные операторы К. представляются в программе параграфами, имеющими свои наименования. Параграфы объединяются в разделы (главы), также имеющие свои наименования (метки, к-рые обеспечивают возможность переходов внутри программы).

Операторы К. определяют типовые элементарные процедуры обработки или передачи информации в машине. Основу операторов составляет глагол в повелит. форме, определяющий вид действия (передать, считать, перейти и т. д.) и дополнит. указания или ф-лы, по к-рым нужно вести счет. Оператор К. соответствует обычно большому числу машинных команд.

Операторы переходов строятся при помощи стандартных слов «если», «тогда», «затем», «иначе». Сложные логич. условия образуются из простых использованием в качестве связок слов «и», «или», «нет».

Программы обработки данных, составляемых с помощью К., как правило, содержат большое количество команд (десятки и сотни тыс.) и представляют собой сложные комплексы типовых подпрограмм, обеспечивающих решение планово-экономич. задач.

Лит.: Chapin N., Programming computers for business applications, N. Y., 1961; Schappert H., Algoritmische Sprachen—eine Einführing in die Programmsprache COBOL, «ADL—Nachrichten», 1962, H. 20, 22, 23.

А. И. Китов.

КОГЕРЕНТНЫЕ КОЛЕБАНИЯ электромагнитные (coherent electromagnetic oscillations; oscillations électromagnétiques cohérentes; kohärente elektromagnetische Schwingungen) — колебания двух или неск. источников, имеющие равные частоты и пост. разность фаз. В радиотехнике понятие когерентности распространяется и на источники колебаний, частоты к-рых не равны. Напр., колебания 2 источников считаются когерентными, если их частоты f_1 и f_2 находятся в рациональном отношении, т. е. $\frac{f_1}{f_2} = \frac{m}{n} = p$, где m и n — целые числа. Источники колебаний, к-рые в интервале наблюдения имеют почти равные частоты и почти равную разность фаз либо источники колебаний, отношение частот к-рых мало отличается от рационального, наз. источниками почти К. к. Способность интерферировать является одной из главных особенностей К. к. Устойчивую интерференционную картину дают лишь К. к. Почти К. к. дают интерференционную картину, медленно изменяющуюся во времени по сравнению с периодом этих колебаний.

Устройства, в к-рых используются К. к., основаны на способности К. к. интерферировать либо на измерении степени разрушения когерентности, происходящей за счет взаимного перемещения источников К. к. Создание радиотехнич. устройств, использующих когерентные сигналы, сводится в основном к созданию источников К. к. и радиотрактов, обеспечивающих передачу когерентных сигналов без разрушения их когерентности. Источники К. к. имеют либо высокостабильные генераторы, либо один генератор в системе является задающим, а др. подстраиваются под него с необходимой степенью точности. Радиотракты систем для передачи когерентных сигналов должны иметь стабильные амплитудно-частотные и фазочастотные хар-ки; высокие требования к стабильности этих хар-к, особенно к стабильности фазочастотных хар-к приводят к значительному усложнению этих трактов.

Примером радиотехнич. устройства, использующего К. к., может служить передвижной радиоинтерферометр (радиолаг), состоящий из двух станций — «задающей» и «отражающей»; он применяется для измерения скорости распространения радиоволн, для исследования структуры электромагнитного поля и для определения изменения расстояния передвигающейся станции от нек-рой опорной точки, в которой расположена вторая неподвижная станция. Задающая станция, размещенная на подвижном объекте, излучает высокостабильные колебания частоты f_1. Эти колебания принимаются приемником неподвижной станции и используются для подстройки частоты задающего генератора этой станции, работающего на частоте f_2 (эти частоты находятся в рациональном отношении). Затем колебания частоты f_2 переизлучаются передатчикам неподвижной станции и принимаются приемником подвижной станции. На подвижной станции наблюдается интерференционная картина колебаний частот f_1 и f_2. Если станции неподвижны, то результат сравнения сигналов не претерпевает изменений; при перемещении подвижной станции наблюдается периодически изменяющаяся интерференционная картина. Подсчитывая число циклов изменения интерференционной картины, можно определить расстояние, на которое переместился подвижный объект.

Др. примером радиотехнич. устройства, использующего К. к., является импульсный радиолокатор с селекцией подвижных целей. Обычно в радиолокаторах частота излучаемых импульсов несколько изменяется от импульса к импульсу. Поэтому под каждый зондирующий импульс, излученный радиолокатором, подстраивается вспомогательный генератор, причем так, что колебания, к-рые он генерирует, оказываются когерентными с излученными колебаниями. Частота сигнала, отраженного от цели, сравнивается с частотой вспомогательного генератора. При неподвижной цели частота излучаемого колебания и частота отраженного от цели сигнала равны и при сравнении их с частотой вспомогательного генератора выделяются импульсы, амплитуда к-рых постоянна. При подвижной цели частота отраженного сигнала за счет эффекта Доплера изменяется, и при сравнении с частотой вспомогательного генератора будет отмечено разрушение когерентности сигнала, к-рое выражается в модуляции амплитуды им-

пульсов, отраженных от подвижной цели, благодаря чему их легко выделить на фоне отраженных сигналов, наблюдаемых на индикаторе радиолокационной станции. Известны и др. методы обработки и извлечения информации из сигналов в устройствах, построенных на основе К. к.

Лит.: Новейшие исследования распространения радиоволн вдоль земной поверхности. Сб. ст., под ред. Л. И. Мандельштама и Н. Д. Папалекси, М.— Л., 1945; Горелик Г. С., Колебания и волны, 2 изд., М., 1959; Виницкий А. С., Очерк основ радиолокации при непрерывном излучении радиоволн, М., 1961. *И. В. Мошкунов.*

КОД (code; code; Code) — система символов, отображающих сообщения, передаваемые по каналу связи. Пусть дано множество возможных элементов сообщений $B=\{b_i\}$, $i=1, \ldots, N$ и нек-рое множество символов (алфавит) $A=\{a_k\}$, $k=1, \ldots, m$. Конечная последовательность символов a_k наз. словом в данном алфавите. Нек-рое множество слов наз. К., если оно поставлено во взаимно-однозначное соответствие с множеством B. Множество B также можно рассматривать как множество слов нек-рого алфавита. Т. о., К. есть взаимно-однозначный образ некоторого множества слов одного алфавита в множестве слов др. алфавита. К. наз. различимым, если существует взаимно-однозначное соответствие между множествами всех последовательностей слов данного К. и всех последовательностей слов первонач. алфавита (т. е. последовательностей элементов сообщений). Каждое слово, входящее в К., наз. кодовой комбинацией.

Число символов в кодовой комбинации наз. ее длиной. Для записи кодовых символов a_k чаще всего используются либо цифры 0, 1, 2, ..., $m-1$, либо к.-л. знаки, напр. +(плюс), — (минус), · (точка), — (тире) и т. п. Каждый кодовый символ a_k является условным обозначением нек-рого элементарного физич. сигнала (непосредственно передаваемого по линии связи). Число m различных кодовых символов a_k наз. основанием К. Код с основанием два наз. двоичным. Если все кодовые комбинации имеют одинаковую длину n, то это — равномерный n-значный К. В противном случае — неравномерный К. Число N различных кодовых комбинаций наз. мощностью (или объемом) К.

Различимость К. может быть достигнута таким построением кодовых комбинаций, когда ни одна из них не является началом другой, более длинной, т. е. содержащей большее число кодовых символов. К., удовлетворяющий этому условию, наз. неприводимым.

Если к данному К. нельзя добавить без нарушения различимости ни одной новой кодовой комбинации, то К. наз. полным. Полный равномерный n-значный К. содержит m^n кодовых комбинаций.

Равномерный К. всегда является неприводимым. Неравномерный К. может быть различимым, не будучи неприводимым. Примером может служить К. 1; 10; 100.

Если К. неприводим, то для декодирования, т. е. восстановления, нек-рого элемента сообщения b_i достаточно располагать последовательностью a, соответствующей элементам сообщения, предшествующим данному, т. е. декодирование можно вести непосредственно по мере приема кодовых комбинаций в процессе передачи сообщения. Если К. различим, но не является неприводимым, то для декодирования нек-рого элемента может понадобиться последовательность a, соответствующая не только всем предшеств. элементам, но и произвольному числу последующих элементов, так что в этом случае декодирование может быть осуществлено лишь с нек-рой задержкой. Однако К. такого типа не представляют практич. интереса, т. к. существует теорема, согласно к-рой для всякого различимого К. можно указать эквивалентный ему неприводимый К., т. е. такой, каждая кодовая комбинация к-рого содержит такое же число кодовых символов как и соответствующая ей кодовая комбинация исходного различимого (но не неприводимого) К.

Код, содержащий кодовые комбинации, служащие для отделения одного элемента сообщения от другого, наз. К. с разделит. знаками.

К., в к-ром все без исключения кодовые комбинации служат лишь для обозначения элементов сообщения, является К. без разделит. знаков.

Деление К. на К. с разделит. знаками и К. без разделит. знаков достаточно условно. Так, напр., код Морзе можно считать двоичным К. (кодовые символы точка и тире) с разделит. знаком (длинная пауза); но т. к. разделит. знак следует после каждой кодовой комбинации, то, включив его в состав кодовой комбинации, можно считать код Морзе троичным К. без разделит. знака (кодовые символы: точка, тире и длинная пауза).

Кодовые комбинации, являющиеся разделит. знаками, могут конструироваться либо из спец. кодовых символов, либо из тех же кодовых символов, к-рые образуют кодовые комбинации, соответствующие определ. элементам сообщения. Иногда бывает удобно разбить элементы сообщения на неск. групп и для каждой из этих групп построить свой К.; сигнал о переходе от одного К. к др. подается спец. кодовыми комбинациями (адресами). Совокупность К. для каждой из групп элементов сообщения вместе с адресными кодовыми комбинациями наз. многоадресным или многопрограммным К.

Типичными примерами К. являются коды Морзе и Бодо. В коде Морзе для обозначения букв, цифр, знаков препинания и различных служебных сигналов используются комбинации точек и тире. Кодовому символу «точка» (·) соответствует сигнал, состоящий из посылки тока и паузы одинаковой длительности, кодовому символу «тире» (—) соответствует сигнал из посылки тока тройной длительности и паузы. Кодовые комбинации отделяются друг от друга спец. разделит. знаком, представляющим собой двойную паузу. Код Морзе является неравномерным, так, напр., букве E соответствует точка (·), букве A — точка и тире (·—), букве B — точка и два тире (·——) и т. д.

Код Бодо — равномерный пятизначный двоичный код. Число различных кодовых комбинаций в коде Бодо равно $2^5=32$, что недостаточно для передачи всех букв, цифр и др. необходимых обозначений. Поэтому код Бодо является двухпрограммным. Одна из программ (буквенный регистр) объединяет все буквы, за исключением Ъ, Э, Й, Щ, а вторая — оставшиеся буквы, цифры, знаки препинания и др. обозначения (цифровой регистр). Переходу на букв. регистр соответствует кодовая комбинация (адрес) 11110, а на цифровой регистр — 11101.

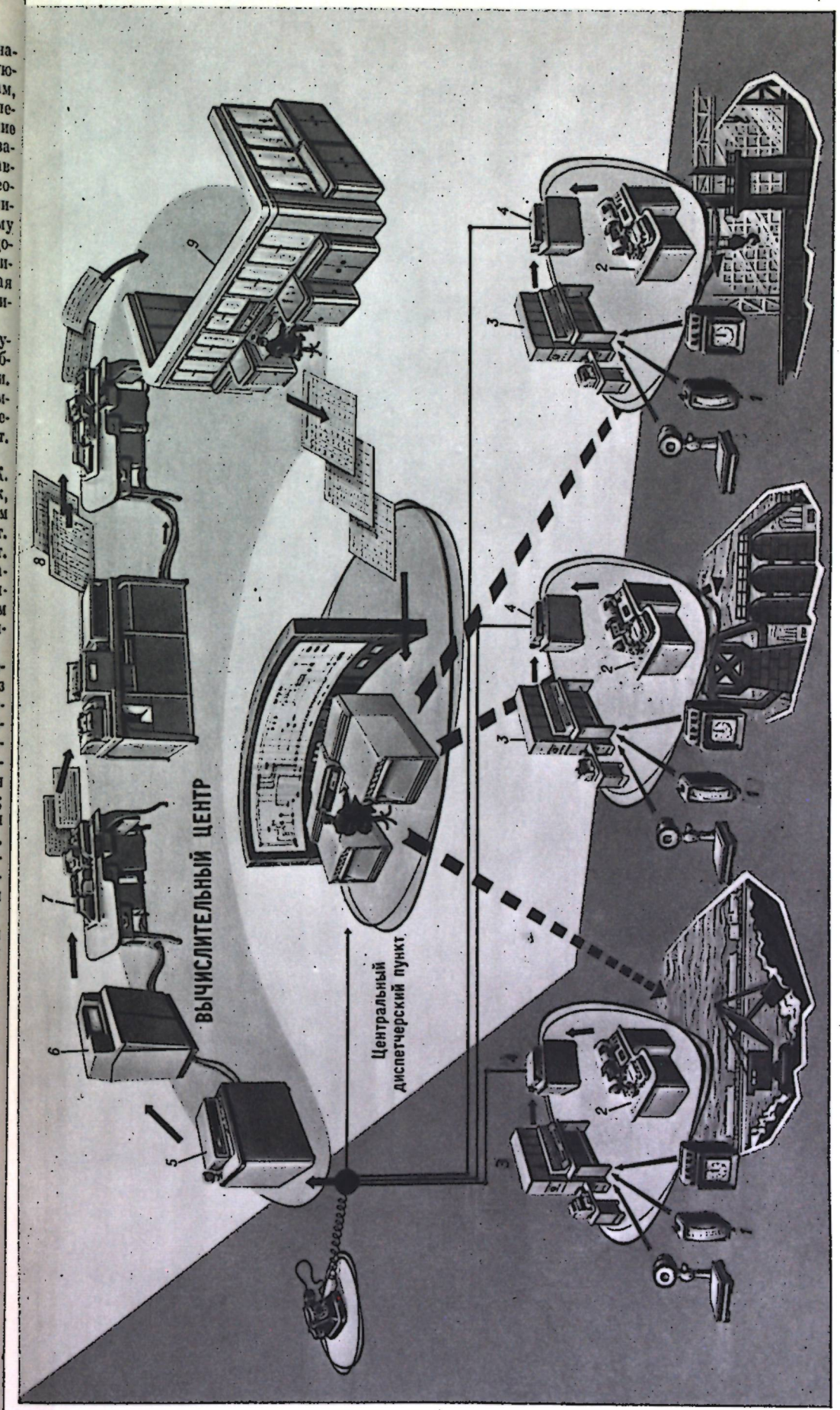
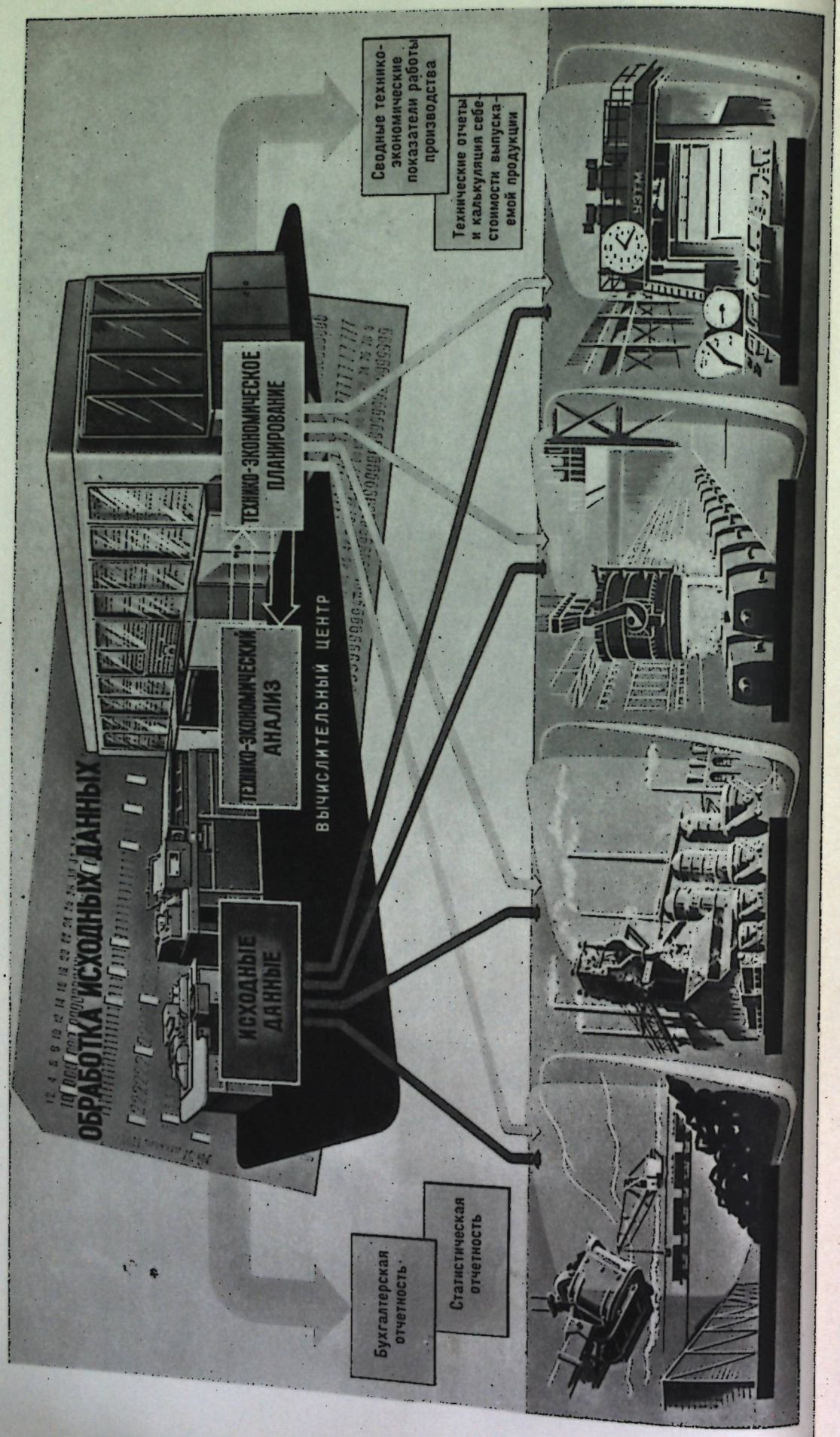


Схема сбора, передачи и обработки информации для управления крупным металлургическим комбинатом: *1* — автоматические регистрирующие приборы (датчики, весы, счетчики и т. д.); *2* — печатающе-перфорирующее устройство с выводом данных в систему передачи; *3* — устройство централизованного контроля с выводом данных в систему передачи; *4* — телемеханический передатчик с фотодиодным считывающим устройством; *5* — телеприемник; *6* — буферный преобразователь (из кода перфоленты в код перфокарты); *7* — карточный перфоратор; *8* — табулятор с итоговым перфоратором; *9* — электронная вычислительная машина.



Для наглядного представления неравномерного К. часто используется диаграмма (рис.) — т. н. кодовое дерево. Из вершины O выходит m лучей, каждый из к-рых соответствует кодовому символу a_i. Конец луча наз. узлом и из него снова выходит m лучей и т. д. Тогда каждый узел кодового дерева можно отождествить с кодовой комбинацией, составленной из символов, соответствующих тем лучам (и в том же порядке), по к-рым надо двигаться из вершины к данному узлу. Например, узлу A соответствует кодовая комбинация a_2a_1. Чтобы К. был неприводим, необходимо и достаточно, чтобы на пути от вершины кодового дерева к любому узлу, соответствующему кодовой комбинации, принадлежащей рассматриваемому К., не встречалось узла, соответствующего др. кодовой комбинации, также принадлежащей К. Если при этом условии любой путь от вершины заканчивается нек-рой используемой кодовой комбинацией, то данный К. будет полным неприводимым. Еще более наглядную геометрич. интерпретацию можно дать равномерному К., если в качестве кодовых символов выбрать цифры 0,1,..., $m-1$. Если теперь в n-мерном пространстве выбрать прямоугольную систему координат $x_1, \ldots, x_2$ и кодовые символы, стоящие в k-той позиции кодовых комбинаций равномерного n-значного К., отождествить со значением координаты x_k точек n-мерного пространства, то все возможные m^n кодовые комбинации будут изображаться точками прямоугольной единичной n-мерной решетки, заполняющей куб, ребро к-рого равно $m-1$ единиц. Т. о., любой равномерный n-значный К. геометрически будет представлять собой нек-рое подмножество точек указанной решетки. Наиболее простой двоичный равномерный К. будет при этом соответствовать нек-рому подмножеству вершин единичного n-мерного куба.

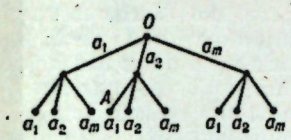


Диаграмма неравномерного кода — т. н. кодовое дерево.

Лит.: Полетаев И. А., Сигнал, М., 1958; Кибернетический сборник. Сб. переводов, 1—3, М., 1960—61 (ряд статей); Бриллюен Л., Наука и теория информации, пер. с англ., М., 1960; Харкевич А. А., Очерки общей теории связи, М., 1955. См. также лит. при ст. *Кодирование*. *Э. Л. Блох.*

КОД (в автоматическом управлении) [code (in automatic control); code (de commande automatique); Code (in der selbsttätigen Steuerung)] — в системах автоматич. управления К. используется, когда требуется передача информации по каналу с помехами или когда система содержит цифровые вычислит. устройства (ЦВУ). Обычно К. представляет собой набор комбинаций из электрич. импульсов и пауз между ними, что эквивалентно изображению значений кодируемой непрерывной величины в виде двоичных чисел. Предварительно эта величина подвергается *квантованию*, а затем с помощью *кодирующего устройства* полученный набор квантованных значений превращается в кодовые комбинации согласно нек-рому правилу, наз. системой кодирования. Основной системой кодирования является натуральная (или биномиальная) система, характеризующаяся тем, что, независимо от правила распределения комбинаций К. по уровням квантования, каждой из них может быть приведено в соответствие число, полученное путем счета квантов. Все др. системы кодирования, создаваемые в соответствии с конкретными аппаратурными требованиями, являются производными. Примером такой (т. н. «неарифметической») системы может служить циклическая система кодирования (или код Грея), в к-рой кодовые комбинации так распределены по уровням квантования, что при переходе с любого уровня на соседний изменение знака происходит только в одном разряде. Отличие рефлексного кода Грея от двоичного состоит только в правиле сопоставления двоичных чисел с десятичными.

Количество импульсов в комбинации или разрядов в эквивалентном двоичном числе определяет значность К.— трехзначный, семизначный и т. д. Значность К. зависит от числа уровней квантования и от требуемой степени защиты системы управления от помех. С целью улучшения помехоустойчивости К. усложняется: к т. н. информационным знакам добавляются дополнительные — проверочные. По такому принципу строится *код обнаружения и исправления ошибки*. Количество ошибок, к-рое может быть обнаружено и исправлено с помощью спец. логич. схем, определяется соотношением информац. и проверочных знаков в К. (см. *Запись команд и чисел комбинированная*, *Кодирование*).

Лит.: Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959. *В. М. Байковский.*

КОД АДРЕСА (address code; code d'adresse; Adressen-Code) — код, обозначающий адрес в программе или цепях ЭВМ. Бывает числовой, буквенный и число-буквенный (обычно в виде $a+10$). Применяется при программировании, а числовой — также и при вычислениях. *П. А. Данильченко.*

КОД ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЙ (complementary code; code complémentaire; Zusatz-Code) — код, применяемый в ряде ЭЦМ для представления чисел при выполнении арифметич. операций; может применяться также при хранении чисел в ЗУ. Если двоичное число x представлено $n-\nu$ целыми и ν дробными разрядами, т. е. если $x = sa_{n-1}\ a_{n-2}\ \ldots\ a_\nu\ a_{\nu-1}\ \ldots\ a_1a_0$, где s — знак числа, а a_i — двоичные цифры, то К. д. числа x получается по ф-ле:

$$[x]^m_{\text{доп}} = \begin{cases} \underbrace{0\ldots0}_{m\text{ раз}}\ a_{n-1}a_{n-2}\ldots a_\nu\ a_{\nu-1}\ldots a_1a_0 & \text{при } x\geqslant 0 \\ \underbrace{1\ldots1}_{m\text{ раз}}\ \bar{a}_{n-1}\bar{a}_{n-2}\ldots\bar{a}_\nu\ \bar{a}_{\nu-1}\ldots a_1a_0 \overset{+}{\underset{n+m}{}} 0\ldots01 & \text{при } x\leqslant 0, \end{cases}$$

где $\bar{a}_i = 1-a_i$ ($i=0,1,\ldots,n-1$), m — целое число, не меньшее чем 1 (наз. числом знаковых разрядов), а символ $\overset{+}{\underset{n+m}{}}$ является знаком т. н. $(n+m)$-разрядного сложения. $(n+m)$-разрядным сложением наз. операция над двумя $(n+m)$-разрядными двоичными числами, отличающаяся от обычного сложения тем, что перенос из старшего разряда, если он возникает,— отбрасывается. Старшие m разрядов К. д. обычно наз. знаковыми. Любое число, также и нуль (хотя для него справедливы как первая, так и вторая строки вышеприведенной формулы), при заданном значении m имеет единств. К. д. В частности, $[0]^m_{\text{доп}} = 0\ldots0$. При каждой системе кодирования величина m

имеет фиксированное значение. Для того чтобы по К. д. определить изображаемое им число, необходимо знать, чему равны m и v (значение n можно при этом определить по числу разрядов К. д.). К. д. положительного числа совпадает с его *кодом обратным*, имеющим то же число знаковых разрядов, а при $m=1$ также с его *кодом прямым*. Если известен К. д. пек-рого числа x, то, заменив каждую цифру этого К. д. ее дополнением до 1 и произведя над полученным результатом и числом 0...01 операцию $(n+m)$-разрядного сложения, получим К. д. числа, обратного x по знаку. К. д. при $m=2$ иногда наз. м о д и ф и ц и р о в а н н ы м К. д.

Если двоичные числа x и y, содержащие каждое $n-v$ целых и v дробных разрядов, удовлетворяют условию $|x+y|<2^n$, то для их К. д. выполняется условие $[x+y]^m_{доп}=[x]^m_{доп}\boxplus_{n+m}[y]^m_{доп}$. Таким образом, сложение двоичных чисел может быть сведено к $(n+m)$-разрядному сложению их К. д. Вычитание сводится к сложению с помощью формулы $x-y=x+(-y)$, поэтому, если упомянутые выше числа x и y удовлетворяют условию $|x-y|<2^n$, то $[x-y]^m_{доп}=[x]^m_{доп}\boxplus_{n+m}|-y|^m_{доп}$. Т. е. вычитание двоичных чисел может быть сведено к $(n+m)$-разрядному сложению. К. д. уменьшаемого с К. д. числа, противоположного вычитаемому. Поскольку умножение является многократным сложением, а деление — многократным вычитанием, то и эти действия можно свести к $(n+m)$-разрядным сложениям К. д. Если $|x+y|\geqslant 2^n$, то $[x]^m_{доп}\boxplus_{n+1}[y]^m_{доп}$ не равняется $[x+y]^m_{доп}$. При этом говорят, что происходит переполнение разрядной сетки [при $(n+m)$-разрядном сложении].

П р и м е р ы. Пусть $n-v=0$; $v=4$ (т. е. $n=4$) и $m=3$. При этом $n+m=7$.

1) Если $x=0{,}1011$; $y=-0{,}0010$, то $[x]^3_{доп}=0001011$; $[y]^3_{доп}=1111110$. При семиразрядном сложении получается

$$\begin{array}{r}0001011\\ 1111110\\ \hline 0001001\end{array}$$

Результат 0001001 является К. д. числа $0{,}1001=x+y$.

2) Если $x=-0{,}1100$; $y=-0{,}1011$, то $[x]^3_{доп}=1110100$; $[y]^3_{доп}=1110101$. При семиразрядном сложении получается

$$\begin{array}{r}1110100\\ 1110101\\ \hline 1101001\end{array}$$

В данном случае произошло переполнение разрядной сетки и результат не является К. д. суммы, т. к. он имеет в знаковых разрядах недопустимую комбинацию цифр 110.

Если число знаковых разрядов К. д. $m>1$, то переполнение разрядной сетки сопровождается образованием в знаковых разрядах результата недопустимой комбинации цифр.

При $m=1$ признаком переполнения может служить неравенство цифр, стоящих в знаковых разрядах, К. д. исходных чисел и результата.

Н. А. Кринецкая.

КОД КОМАНД (instruction code; code d'instructions; Kommando-Code, Befehls-Code) — см. *Запись команд и чисел комбинированная.*

КОД ОБНАРУЖЕНИЯ И ИСПРАВЛЕНИЯ ОШИБКИ (error-detection and correction code; code de détéction et de correction d'erreur; Code zur Ermittlung und Verbesserung von Fehlern, Fehler-Ermittlungs- und Verbesserungs-Code), п о м е х о у с т о й ч и в ы й, к о р р е к т и р у ю щ и й к о д,— код, позволяющий по имеющейся в кодовой комбинации избыточности обнаруживать и исправлять определ. ошибки, появление к-рых приводит к образованию ошибочных или запрещ. комбинаций. Применяется при передаче и обработке информации в вычислит. машинах, ТУ, телеграфии, телефонии, радиорелейных линиях связи, где возможны искажения сигнала в результате действия различного рода помех.

Избыточность информации можно определить отношением $R=\frac{n}{m}$ полного числа используемых символов n к миним. числу символов m, необходимому для представления той же информации. Разность $k=n-m$ определяет количество контрольных или проверочных символов, применяемых для обнаружения и исправления ошибок. К. о. и и. о.— частный случай самопроверяющихся кодов, для к-рых хар-ка каждой кодовой комбинации (группы) заранее известна, напр. каждая кодовая группа содержит указанное число «единиц», и нет кодовых групп, состоящих из одних «нулей». Код «два из пяти» имеет пять позиций, из к-рых для представления десяти десятичных цифр две позиции заполнены единицами, а три — нулями, т. е. $C^2_5=10$ (табл.). Нечетное количество единиц или четное нулей говорит об ошибке. Другой самопроверяющийся код — двоично-пятеричный, в к-ром для представления каждой десятичной цифры используются две кодовые группы по две и пять двоичных позиций в каждой (табл.).

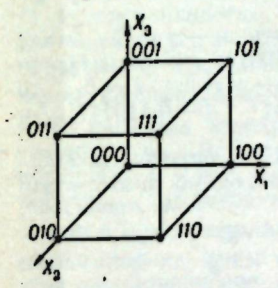
Появление более одной единицы или наличие всех нулей в любой из кодовых групп свидетельствует об ошибке. В двоично-десятичной цифровой машине, использующей коды с избытком 3, запрещенными считаются комбинации двоичных цифр одной тетрады, имеющие десятичные эквиваленты 0, 1, 2, 13, 14, 15.

Простейшим случаем является контроль на четность, при к-ром к $n-1$ двоичным разрядам добавляется один контрольный n-й разряд, значение к-рого дополняет до четной (или нечетной) сумму единиц разрядов кодовой комбинации. Введение одного дополнит. разряда добавляет к принятому числу разрешенных комбинаций (2^{n-1}) такое же число запрещенных комбинаций. Общее число комбинаций $N=2\cdot 2^{n-1}=2^n$. Т. о., любые две разрешенные комбинации будут различаться теперь не менее чем двумя знаками, что позволяет обнаружить одиночную ошибку. Исправить эту ошибку можно, если для перехода от одной разрешенной кодовой комбинации к другой необходимо не менее трех перемен в разрядах кодовой группы. Появление одиночной ошибки образует запрещенную комбинацию, отличающуюся от истинной только в одном разряде, а от любой другой — не менее чем в двух разрядах.

Типы кодов с обнаружением ошибок

Обозначение десятичным кодом	Код «два из пяти»					Код двоично-пятеричный						
	веса двоичных позиций					веса двоичных позиций						
	0	1	2	4	7	5	0	4	3	2	1	0
0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1
1	1	1	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0
2	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0
3	0	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0
4	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
5	1	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1
6	1	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	0
7	0	1	1	0	1	1	0	0	0	1	0	0
8	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0
9	0	0	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0

Удобно ввести геометрич. модель кода. Тогда 2^n различных n-разрядных кодовых комбинаций рассматриваются как вершины куба с единичными ребрами в эвклидовом n-мерном пространстве. Для обнаружения одиночной ошибки необходимо, чтобы вершины куба, соответствующие разрешенным комбинациям, отстояли друг от друга на расстоянии, равном двум единицам или двум ребрам куба (рис.). Контроль на четность сокращает в два раза число разрешенных комбинаций, к-рым теперь соответствуют вершины 000, 011, 101, 110. Для исправления одиночной ошибки расстояние между разрешенными комбинациями должно составлять три единицы. Этому условию удовлетворяют только две вершины куба 000 и 111. Когда информацию можно представить в виде матрицы, состоящей из p столбцов и q строк, что имеет место при хранении информации на магнитной ленте, барабане, перфоленте и т. п., то, введя во всех строках и столбцах проверочные разряды на четность, можно обнаружить место и исправить ошибку на пересечении той строки и того столбца, для к-рых контрольные суммы нечетны. Способ позволяет обнаружить q непересекающихся ошибок, при $q\leqslant p$ в данной кодовой группе.



Геометрическая модель трехразрядного двоичного кода.

Обнаружение и исправление кратных ошибок (двойных, тройных и т. д.) требует введения большей избыточности, т. е. увеличения количества дополнит. разрядов и общей длины кодовой комбинации. Если d — наименьшее число разрядов, к-рыми различаются комбинации, а r и S — соответственно кратности обнаруживаемой и исправляемой ошибок, то $d=1+r+S(r\geqslant S)$, т. к. для обнаружения ошибки требуется один дополнит. разряд в d, а для исправления — два дополнит. разряда. Общий принцип построения корректирующих кодов состоит в том, что к каждой разрешенной кодовой комбинации относят пек-рое число возможных комбинаций, отличающихся от данной миним. числом символов. В коде Хемминга для исправления одиночной ошибки в кодовой комбинации, состоящей из n позиций, в проверочных k позициях содержатся символы, к-рые определяются путем проверок на четность каждой из k групп информац. символов. Отсутствие ошибки указывается нулевым числом в контрольных позициях. При наличии ошибки ее место определяется двоичным числом, образованным контрольными позициями после k последоват. проверок на четность различных комбинаций информац. и контрольных символов. Выбор числа контрольных разрядов производится по формуле $2^m\leqslant\frac{2^n}{n+1}$. Так, при $n=5$, $m=2$, $k=3$.

Дальнейшим развитием корректирующих кодов являются групповые (систематич.) коды, для к-рых характерно, что все кодовые комбинации имеют равную длину, номера проверяемых позиций не зависят от набора информац. символов, проверки не зависят друг от друга. Значения контрольных разрядов занимаются заданными линейными по модулю 2 комбинациями из информац. разрядов. Теория групповых кодов позволяет в наиболее общей форме представить принципы построения оптимальных кодов, корректирующих заданные ошибки.

Лит.: Коды с обнаружением и исправлением ошибок. Сб. статей, [переводы], под ред. А. М. Петровского, М., 1956; Р и ч а р д с Р. К., Арифметические операции на цифровых вычислительных машинах, пер. с англ., М., 1957. *Г. Б. Смирнов.*

КОД ОБРАТНЫЙ (reverse code; code inverse; Decodierungsschlüssel, rückwärtiger Code) — код, применяемый в ряде ЭЦМ для представления чисел при выполнении арифметических операций; может применяться также при хранении чисел в ЗУ. Если двоичное число x представлено $n-v$ целыми и v дробными разрядами, т. е. если $x=sa_{n-1}\,a_{n-2}\ldots a_v\,a_{v-1}\ldots a_1a_0$, где s — знак числа, а a_l — двоичные цифры, то К. о. числа x получается по ф-ле:

$$[x]^m_{обр}=\begin{cases}\underbrace{0\ldots0}_{m\text{ нулей}}a_{n-1}a_{n-2}\ldots a_v a_{v-1}\ldots a_1a_0 & \text{при } x\geqslant 0\\ \underbrace{1\ldots1}_{m\text{ единиц}}\bar{a}_{n-1}\bar{a}_{n-2}\ldots\bar{a}_v\bar{a}_{v-1}\ldots\bar{a}_1\bar{a}_0 & \text{при } x\leqslant 0,\end{cases}$$

где $\bar{a}_i=1-a_i$ $(i=0,1,\ \ldots,\ n-1)$. Старшие m разрядов К. о. обычно наз. з н а к о в ы м и. К. о. числа нуль можно получить как по верхней, так и по нижней строке ф-лы; в соответствии с этим существуют два К. о. нуля, наз. К. о. положительного и К. о. отрицательного нуля:

$$[0]^m_{обр}=[+0]^m_{обр}=00\ldots0\ [(n+m)\text{ нулей}]$$

$$[0]^m_{обр}=[-0]^m_{обр}=11\ldots1\ [(n+m)\text{ единиц}].$$

Число, не равное нулю, имеет (при заданном значении m) единственный К. о. При каждой системе кодирования величина m (наз. числом знаковых разрядов) имеет фиксированное значение. Для того чтобы по К. о. определить изображаемое им число, необходимо знать, чему равны m и v (значение n можно при этом определить по числу разрядов в К. о.). К. о. положит. числа совпадает с его *кодом дополнительным;* имеющим то же число знаковых разрядов, а при $m=1$, также с его кодом прямым. К. о. отрицат. числа получается из его кода прямого, если в последнем все цифры, кроме старшей, заменить их дополнениями до 1 и слева приписать $m-1$ единиц. К. о. с двумя знаковыми разрядами иногда наз. м о д и ф и ц и р о в а н н ы м К. о.

Операция над двумя целыми k-разрядными двоичными числами, представляющая собой видоизмененное сложение, к-рое отличается от обычного тем, что перенос из старшего разряда, если он возникает, производится в младший разряд результата, наз. k-разрядным циклич. сложением и обозначается знаком $\bigoplus_k$. Результат этой операции всегда является k-разрядным целым числом. Если числа x и y, содержащие каждое $n-\nu$ целых и ν дробных разрядов, удовлетворяют условию $|x+y| < 2^n$, то для их К. о. выполняется условие $[x+y]^m_{\text{обр}} = [x]^m_{\text{обр}} \bigoplus_{n+m} [y]^m_{\text{обр}}$. Т. о., сложение двоичных чисел можно свести к циклич. сложению их К. о. Вычитание чисел сводится к сложению с помощью ф-лы $x-y=x+(-y)$, поэтому, если упомянутые выше числа x и y удовлетворяют условию $|x-y| < 2^n$, то $[x-y]^m_{\text{обр}} = [x]^m_{\text{обр}} \bigoplus_{n+m} [-y]^m_{\text{обр}}$. Т. е. вычитание двоичных чисел можно свести к циклич. сложению К. о. уменьшаемого с К. о. числа, обратного по знаку вычитаемому. Поскольку умножение является многократным сложением, а деление многократным вычитанием, то и эти действия можно свести к циклич. сложениям К. о. Если $|x+y| \geqslant 2^n$, то $[x]^m_{\text{обр}} \bigoplus_{n+m} [y]^n_{\text{обр}}$ не равняется $[x+y]^m_{\text{обр}}$. При этом говорят, что происходит переполнение разрядной сетки (при циклич. сложении).

Примеры. Пусть $n-\nu=0$, $\nu=4$ (т. е. $n=4$) и пусть $m=2$. При этом $n+m=6$.

1) Если $x=0{,}1011$; $y=-0{,}0010$, то $[x]^2_{\text{обр}} = 001011$; $[y]^2_{\text{обр}} = 111101$. При 5-разрядном циклич. сложении получается

$$\begin{array}{r} 001011 \\ \oplus\ 111101 \\ \hline 1001000 \\ \hline 001001 \end{array}\uparrow$$

Результат 001001 является К. о. числа $0{,}1001 = x+y$.

2) Если $x=-0{,}1100$; $y=-0{,}1011$, то $[x]^2_{\text{обр}} = 110011$; $[y]^2_{\text{обр}} = 110100$. При 5-разрядном циклич. сложении получается

$$\begin{array}{r} 110011 \\ \oplus\ 110100 \\ \hline 1100111 \\ \hline 101000 \end{array}\uparrow$$

В данном случае произошло переполнение разрядной сетки и результат не является К. о. суммы, т. к. он имеет в знаковых разрядах недопустимую комбинацию 10.

Если число знаковых разрядов К. о. $m>1$, то переполнение разрядной сетки сопровождается образованием в знаковых разрядах результата недопустимой комбинации цифр.

При $m=1$ признаком переполнения может служить неравенство цифр, стоящих в знаковых разрядах К. о., исходных чисел и результата.

Н. А. Кринецкий.

КОД ПРЯМОЙ (direct code; code droit; direkter Code) — код, применяемый в большинстве существующих ЭЦМ при хранении чисел в ЗУ, а также при выполнении нек-рых операций. В машинах с фиксированной запятой (см. *Запятая фиксированная*) с помощью К. п. изображаются сами числа, а в машинах с плавающей запятой (см. *Запятая плавающая*) — их мантиссы и порядки. Если двоичное число x представлено $n-\nu$ целыми и ν дробными разрядами, т. е. если $x = s a_{n-1} a_{n-2} \ldots a_\nu\ a_{\nu-1} \ldots a_1 a_0$, где s — знак числа, а a_i — двоичные цифры ($i=0,1,\ldots,n-1$), то К. п. числа x получается по ф-ле:

$$[x]_{\text{пр}} = a_n\ a_{n-1}\ a_{n-2} \ldots a_\nu\ a_{\nu-1} \ldots a_1 a_0.$$

При этом, если $x \leqslant 0$, то $a_n = 1$, а если $x \geqslant 0$, то $a_n = 0$. Старший разряд К. п. наз. знаковым. Таким образом, К. п. содержит отдельно код знака и код абс. величины числа. Число нуль имеет два К. п., называемых соответственно К. п. положительного и К. п. отрицательного нуля:

$$[+0]_{\text{пр}} = 00\ldots0;\ [-0]_{\text{пр}} = 10\ldots0.$$

Примеры. 1) Пусть $n-\nu=2$, $\nu=3$; тогда $[+10{,}011]_{\text{пр}} = 010011$; $[-10{,}011]_{\text{пр}} = 110011$. 2) Если $n-\nu=0$, $\nu=6$, то $[+0{,}110111]_{\text{пр}} = 0110111$; $[-0{,}110111]_{\text{пр}} = 1110111$.

Для того чтобы по К. п. определить обозначаемое им число, необходимо знать величину ν.

Н. А. Кринецкий.

КОДИРОВАНИЕ (coding; codage; Codierung, Verschlüsselung) в широком смысле — преобразование сообщения в код. К. применяется при передаче, переработке или хранении информации, при введении программы вычислений в ЭВМ, при передаче команд в системах телемеханич. управления и т. п. Целью К., как правило, является согласование в нек-ром смысле источника сообщений с каналом связи, т. е. выполнение к.-л. условий, зависящих от свойств источника сообщений и канала связи. Примерами таких условий могут служить: обеспечение либо макс. скорости передачи, к-рой можно достичь, используя статистич. свойства сообщения, либо заданной помехоустойчивости, характеризуемой вероятностью безошибочного воспроизведения (приема) передаваемого сообщения, при заданном характере и интенсивности помех в канале. К., подчиняющееся первому условию, наз. статистич., а второму условию — помехоустойчивым. Если передаваемое сообщение дискретно, т. е. представляет собой последовательность A, составленную из нек-рых элементов $A_k, k=1,2,\ldots,s$, то К. сводится к установлению однозначного соответствия между последовательностью a кодовых символов a_i, $i=1,2,\ldots,m$ и сообщением A (К. в узком смысле). Кодовые символы a_i являются условным обозначением нек-рых элементарных сигналов, передаваемых по каналу связи и различающихся между собой к.-л. параметром.

Наиболее простым образом связь между последовательностями A и a можно установить, поставив в соответствие каждому элементу A_k нек-рую кодовую комбинацию, составленную из символов a_i так, чтобы различным A_k соответствовали различные кодовые комбинации и чтобы эти кодовые комбинации можно было однозначно выделить из последовательности a (условие различимости).

В ряде случаев (особенно, если между элементами A_k существуют значит. статистич. связи) более эффективным является предварит. преобразование последовательности A

в промежуточные последовательности A', A'', ..., B, каждая из к-рых однозначно определяет предыдущую. Кодовые комбинации, составленные из символов a_i, ставятся в соответствие с элементами $B_k, k=1,2,\ldots,N$ окончат. последовательности (B). Совокупность всех N кодовых комбинаций образует применяемый в данном случае *код*.

В качестве элементов B_k часто выбирают группу из M элементов A_k (т. н. M-граммы), тогда число N различных элементов B_k оказывается равным $N=S^M$. Статистич. связи между элементами B_k (если они имели место между A_k), как правило, быстро ослабевают с увеличением числа M, т. е. происходит т. н. декорреляция сообщения (декорреляция укрупнением).

Если статистич. связи между элементами A_k чрезвычайно велики так, что после элемента A_k с вероятностью, близкой к единице, следует элемент A_j, то полезным бывает такое преобразование последовательности A в A', при к-ром каждый элемент A'_k позволяет установить различие между элементом последовательности A, действительно следующим за уже переданным, и тем, появление к-рого наиболее вероятно. В полученной т. о. последовательности A', элементы к-рой A'_k называют сигналами ошибки, один из элементов, а именно тот, к-рый означает отсутствие ошибки, встречается значительно чаще всех остальных.

Статистич. связи между элементами A'_k также оказываются более слабыми, нежели между элементами A_k. Эти обстоятельства, в свою очередь, используются для построения последовательности B, обеспечивающей наиболее высокую эффективность К. Такой тип К. называется К. с предсказанием. При статистич. К. дискретного сообщения задача, как правило, сводится к построению кода, обеспечивающего наименьшее число символов a_i последовательности a, приходящихся в среднем на один элемент A_k последовательности A. Теоретически достижимая при этом эффективность К. определяется теоремой Шеннона, согласно к-рой существует такой способ К., что среднее число l символов a_i, приходящихся на один элемент A_k, может быть сделано сколь угодно близким к величине $H(A)/\log_2 m$ [$H(A)$ — энтропия сообщения A на один элемент A_k] и невозможно К., при к-ром величина l оказалась бы меньше, чем $H(A)/\log_2 m$.

Предельное равенство $l = \frac{H(A)}{\log_2 m}$ достигается тогда и только тогда, когда удается построить последовательность B так, чтобы все ее элементы B_k были статистически независимыми и их вероятность была равна m^{-l_k}, где l_k — число кодовых символов в кодовой комбинации, соответствующей элементу B_k. Практически минимизация величины l достигается тем, что наиболее вероятным элементам B_k ставятся в соответствие наиболее короткие кодовые комбинации (при обязат. выполнении условия различимости). Если в канале связи действует помеха, то принятый сигнал оказывается отличным от переданного, так что сигнал, соответствующий символу a_i, может быть воспринят как сигнал, соответствующий символу a_j. Если $i \neq j$, то говорят, что при передаче символа a_j произошла ошибка. При независимом искажении символов a_i воздействие помехи характеризуют набором условных вероятностей $P_i(j)$; $i, j=1,2,\ldots,N$ того, что при передаче символа a_i воспроизводится символ a_j. Если в принятой кодовой комбинации ошибочно воспроизведено t символов, то говорят о t-кратной ошибке в кодовой комбинации.

Осн. задачей помехоустойчивого К. является построение такого кода, чтобы все ошибки кратности, не превосходящей заданной величины t, могли быть обнаружены и исправлены. Принципиально это достигается тем, что все кодовые комбинации выбираются одинаковой длины, т. е. составляются из одинакового числа n кодовых символов (что наиболее просто решает проблему различимости), причем число n выбирается бо́льшим, нежели это необходимо для построения N различных кодовых комбинаций. Все возможные при этом кодовые комбинации, число к-рых равно $m^n > N$, разбиваются на N групп S_k, $k=1,2,\ldots,N$, каждая из к-рых ставится в соответствие с одним из элементов B_k. При передаче элемента B_k посылается всегда одна определенная кодовая комбинация, принадлежащая S_k, и если принятая (искаженная помехой) комбинация оказывается принадлежащей группе S_r, то приемник воспроизводит элемент B_r. Следовательно, для того чтобы любые ошибки в кодовой комбинации, кратность к-рых не превосходит t, не приводили к ошибочному приему (т. е. чтобы все ошибки кратности $\leqslant t$ исправлялись), надо так выбрать группы S_k, чтобы каждая из них содержала все возможные кодовые комбинации, отличающиеся от передаваемой не более чем на t символов. При этом очевидно, что передаваемые кодовые комбинации (т. н. разрешенные) должны отличаться друг от друга не менее чем на $2t+1$ символов. Совокупность разрешенных кодовых комбинаций, отличающихся друг от друга не менее чем на $2t+1$ символов, образует т. н. корректирующий код, исправляющий t-кратные ошибки (см. *Код обнаружения и исправления ошибки*). Другой важной задачей помехоустойчивого К. является построение кодов, исправляющих пакеты ошибок. Под пакетом ошибок, протяженностью l символов, подразумеваются все ошибки, сосредоточ. в пределах произвольно расположенной в кодовой комбинации последовательности не более чем $l<n$ символов.

Теоретич. возможности помехоустойчивого К. определяются теоремой Шеннона, из к-рой вытекает возможность построения корректирующего кода, обеспечивающего при конечной скорости передачи воспроизведение передаваемого сообщения со сколь угодно малой вероятностью ошибки. Верхняя грань достижимой при этом скорости передачи наз. пропускной способностью канала и при независимом искажении символов a_i зависит исключительно от вероятностей $P_i(j)$.

Лит.: Харкевич А. А., Очерки общей теории связи, М., 1955; Голдман С., Теория информации, пер. с англ., М., 1957; Теория информации и ее приложения. [Сборник переводов], М., 1959 (ряд статей); Шэннон К., Статистическая теория передачи электрических сигналов, в сб.: Теория передачи электрических сигналов при наличии помех. Сб. переводов, М., 1953; Теория передачи сообщений (Тр. Третьей междунар. конференции), под ред. В. И. Сифорова, М., 1957; см. также лит. при статьях *Код* и *Код обнаружения и исправления ошибки*.

Э. Л. Блох.

КОДИРОВАНИЕ в телемеханике (coding in remote-control; codage de télécommande; Codierung in der Fernwirktechnik,

Verschlüsselung in der Fernwirktechnik). К дискретным сообщениям в телемеханике относятся дискретные команды управления, сообщения сигнализации, включая сообщения об адресе объекта, а также квантованные значения измеряемых величин (см. *Квантование*). Кодовые комбинации образуются комбинированием нек-рого числа элементарных сигналов, передаваемых последовательно во времени, а также одновременно, но в различных полосах частот или по различным каналам. Для образования кодовых комбинаций необходимо, чтобы элементарные сигналы могли принимать 2 или более значений, соответственно числу символов, принятому в алфавите кода. Коды различаются элементарными сигналами, методами их передачи или хранения, способом их комбинирования и правилом сопоставления выбранных комбинаций и сообщений (рис. 1).

При передаче независимых дискретных сообщений типа команд правило сопоставления кодовых комбинаций и сообщений обычно бывает несущественным для характеристики кода. Коды в этом случае отличаются только элементами и способом комбинирования. При передаче взаимозависимых сообщений типа численных значений результатов измерения коды отличаются также правилом сопоставления кодовых комбинаций и сообщений.

По способу передачи по каналу связи коды разделяются: а) по методу передачи комбинаций — на последоват. коды, в к-рых символы передаются последовательно во времени, и параллельные коды, в к-рых символы отдельных элементов комбинирования передаются по различным цепям или в различных полосах частот; б) по импульсным признакам,

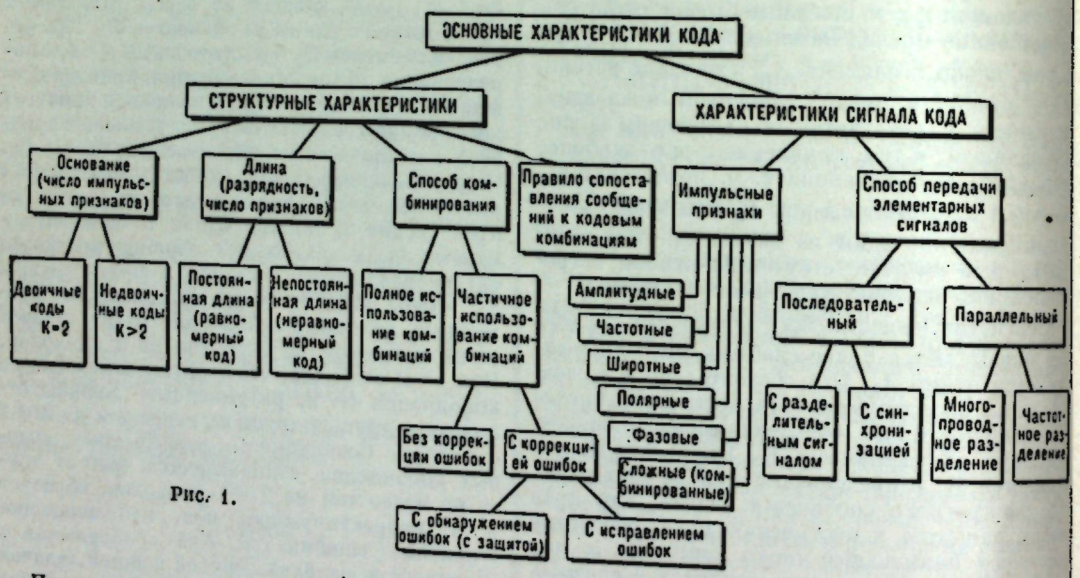


Рис. 1.

По способу образования комбинаций коды разделяются: а) по числу символов в алфавите — на двоичные (бинарные) коды, для к-рых число символов равно двум, и небинарные коды с числом символов в алфавите больше двух. В соответствии с числом символов в алфавите небинарные коды часто называются троичными, четверичными и т. д.; число символов в алфавите называется основанием кода; б) по длине кодовых комбинаций («слов») — на 1-символьные (1-буквенные, 1-разрядные, 1-импульсные) и многосимвольные (многобуквенные, многоразрядные, многоимпульсные). В соответствии с длиной слова коды наз. 5-разрядными, 8-импульсными, кодами длины n, кодами перем. длины и т. д.; в) по методу построения кодовых комбинаций из заданного алфавита — на коды с использованием всех возможных комбинаций заданной длины, к-рые могут быть построены из заданного алфавита (коды на все сочетания), и коды с использованием части возможных комбинаций (коды на неск. или на одно сочетание); г) по возможности обнаружения и исправления искажений символов, возникающих при передаче по каналу связи с помехами,— на коды, не обладающие такой возможностью (простые коды), и коды, обладающие такой возможностью (см. *Код обнаружения и исправления ошибки*).

используемым для образования символов,— на коды с простыми признаками, в к-рых для образования символа используется определ. значение одного импульсного признака, и коды с комбинированными признаками, в к-рых для образования символа используется комбинация значений одного или неск. импульсных признаков. В соответствии с используемым импульсным признаком различают коды с амплитудными признаками, с временны́ми признаками, с комбинированными частотными признаками и т. д. Наиболее часто в двоичных кодах в телемеханике используются полярные, временны́е и амплитудные импульсные признаки. Для небинарных кодов чаще используются частотные признаки. При передаче элементарных сигналов и кодовых комбинаций по каналу связи возникает проблема разделения комбинаций и символов. Способы решения этой задачи: синхронный прием при последоват. передаче, введение спец. символа, передаваемого после каждого элемента, напр. паузы, импульса другой полярности и т. п., а также построение комбинаций так, что неразделимые при данном методе приема символы никогда не следуют друг за другом. Коды с комбинациями пост. длины наз. равномерными. Двоичные коды на все сочетания используют все возможные комбинации длины n. Число возможных комбинаций $N=2^n$. Двоичный код на все сочетания применяется в основном в ТИ для передачи квантованных измеряемых величин. При передаче численных значений двоичным кодом на все сочетания правило сопоставления состоит в следующем: десятичное число получается из двоичного кода по ф-ле:

$$N=\alpha_1 2^{n-1}+\alpha_2 2^{n-2}+\ldots+\alpha_{n-1}2^1+\alpha_n 2^0,$$

где α — значение элемента комбинаций, равное 0 или 1. Код Грея (рефлексный код) отличается от двоичного кода только правилом сопоставления двоичных чисел с десятичными (задается таблицей). В коде Грея при возрастании десятичного числа на единицу изменяется значение только одного символа по сравнению с предыдущим двоичным числом. Это свойство оказывается ценным при нек-рых способах преобразования измеряемого параметра в код (напр., при использовании кодирующего диска). Двоично-десятичный код используется в системах ТИ при передаче цифровых данных, записанных в десятичной системе. Каждый из десятичных разрядов передаваемого числа кодируется по двоичной системе. Такой способ кодирования удобен для перевода двоично-десятичных кодов в десятичные числа. Двоичные коды на одно сочетание используют все комбинации длины n, содержащие ровно m символов «1» и $n-m$ символов «0». Общее число возможных комбинаций $N=C_n^m$. Эти коды позволяют обнаружить одну или неск. однотипных ошибок при защите по числу одинаковых символов. Наибольшее распространение из этого класса получили коды на сочетание C_n^1. При $n=10$ код C_n^1 иногда наз. десятичным. Двоичные число-символьные коды используют слова длины n, построенные так, что первыми m элементами являются символы «1», а остальными $n-m$ элементами — символы «0». Общее число возможных комбинаций $N=n$. Двоичные коды с защитой на четность (или нечетность) образуются из двоичного кода на все сочетания путем добавления одного элемента комбинирования, значение к-рого выбирается так, чтобы число единиц в каждой кодовой комбинации было бы четным (или нечетным). При общей длине n число возможных комбинаций $N=2^{n-1}$. k-Символьный код на все сочетания характеризуется числом комбинаций при длине n, равным $N=k^n$. В таких кодах при нек-рых способах образования символов алфавита, напр. в кодах с частотными признаками, возможно исправление одиночных искажений введением защиты по числу одновременно принимаемых частот (аккордная защита). Сменно-качественный код использует комбинации, в к-рых 2 одинаковых символа не следуют друг за другом. При использовании алфавита из k попарно различимых символов общее число возможных комбинаций длины n равно $N=k(k-1)^{n-1}$. Аккордный k-символьный код использует комбинации, не содержащие одинаковых символов. Обычно применяются коды, в к-рых длина комбинации равна числу символов в алфавите ($k=n$). В этом случае число возможных комбинаций $N=k!$. Многоступенчатый код — код, в к-ром каждая сложная кодовая комбинация состоит из определ. числа простых кодовых комбинаций, образованных согласно выбранным для них кодам. При использовании данной классификации полное наименование кода состоит последовательно из хар-к: число символов в алфавите, длина кодовой комбинации, метод передачи, метод построения комбинаций, используемый импульсный признак, возможность обнаружения и исправления ошибки. Так, двоичный код с последоват. передачей символов, к-рым соответствуют импульсы различной частоты, при использовании комбинаций длины 10, содержащих ровно 3 символа «1», наз. двоичным 10-символьным последоват. кодом на одно сочетание (C_n^3) с частотными импульсными признаками.

Осн. показатели кодов: помехоустойчивость, т. е. способность безошибочной передачи сообщений по каналу с помехами (см. *Помехоустойчивость телеуправления*), эффективность, т. е. способность передачи наибольшего количества информации через канал с огранич. полосой частот, а также простота и надежность устройств шифрации и дешифрации. Помехоустойчивость кода зависит от помехоустойчивости передачи элементарных сигналов и от способов комбинирования. Если в коде используются все возможные комбинации, то любое единичное искажение будет приводить к образованию ложной команды. В телеуправлении, где особенно важна надежная передача команд, как правило, используется только часть возможных комбинаций. Это позволяет применять различные способы обнаружения одиночных ошибок. Коды с исправлением ошибок в пром. телемеханике не нашли широкого применения вследствие аппаратурной сложности. Использование части возможных комбинаций в нек-рых кодах позволяет существенно повысить помехоустойчивость кода за счет уменьшения вероятности искажения отдельных символов путем увеличения их энергии при заданной длительности кода. Использование части возможных комбинаций понижает эффективность передачи, т. к. требует большей полосы для передачи того же числа сигналов при сохранении прежнего быстродействия. Т. о., требования помехоустойчивости и эффективности часто противоречивы. В отличие от связи и телеграфии, где в основном используются двоичные коды с временны́м разделением и всеми возможными комбинациями, в телемеханике широко используются коды с различными защитами и k-символьные коды. С ростом протяженности линий связи и объема передаваемой информации помехоустойчивость и эффективность передачи приобретают большое значение. В пром. телемеханике примерно до 1950 в основном использовались последоват. коды с временны́ми и амплитудными признаками, что объяснялось удобством реализации кодирующих и декодирующих устройств в механич. или контактном исполнении (системы типа ВРТ и др.).

В зависимости от способа разделения символов, в последоват. кодах различают: время-импульсный код, в к-ром импульсы разделяются паузами, а в качестве признаков используется длительность импульсов; время-интервальный код, в к-ром признаком является длительность пауз, а в качестве символов интер-

вала используется импульс; время-импульсный интервальный код, в к-ром для образования символов используется длительность как импульсов, так и пауз, а разделение символов производится путем чередования импульсов и пауз. Из последоват. кодов наибольшее применение получил код на одно сочетание C_n^1 с амплитудными импульсными признаками (наличие и отсутствие импульса) или с полярными признаками — р а с п р е д е л и т е л ь н ы й к о д. К достоинствам этого кода относится простота реализации дешифрирующих устройств на бесконтактных элементах, возможность обнаружения искажений символов достаточно простыми средствами и возможность использования аппаратуры дешифрации (распределителя импульсов) для многоканальной известительной сигнализации в системах ТУ—ТС. Распределит. код широко используется при многоступенчатом К., напр. для избирания сосредоточ. объектов и для передачи управляющей информации. Недостатками распределит. кода являются низкие эффективность и помехоустойчивость при огранич. амплитуде сигнала в канале связи. Многоступенчатый распределит. код имеет лучшие эффективность и помехоустойчивость (за счет уменьшения числа элементарных сигналов) по сравнению с одноступенчатым.

В пром. телемеханике наряду с описанными выше кодами широко применяются частотные коды, использующие частоту колебаний либо для разделения элементарных сигналов (параллельные коды с частотным разделением), либо для образования частотных признаков в последоват. кодах. Наиболее широко применяются одноимпульсные и двухимпульсные последоват. коды с частотными признаками. О д н о и м п у л ь с н ы е к о д ы с ч а с т о т н ы м и п р и з н а к а м и — одночастотные коды — отличаются высокой помехоустойчивостью и простотой схемных решений аппаратуры исполнит. пунктов, но низкой эффективностью. Одночастотные коды нашли широкое применение в малокомандных системах ТУ с рассредоточенными объектами (нефтепромыслы, газопроводы) и применяются для сосредоточенных объектов в тех случаях, когда требуется высокая помехоустойчивость, напр. ТУ подвижными объектами (кранами и т. д.). Одноимпульсные коды с частотными признаками могут рассматриваться также как двоичные параллельные коды на одно сочетание C_n^1 с амплитудными импульсными признаками. Д в у х ч а с т о т н ы й к о д с п а р а л л е л ь н о й п о с ы л к о й 2 ч а с т о т может рассматриваться как 1-импульсный код с комбинированными частотными признаками или как параллельный частотный код C_n^2 с амплитудными признаками. В телемеханике широко применяется также д в у х ч а с т о т н ы й к о д с п о с л е д о в а т е л ь н о й п о с ы л к о й ч а с т о т. Этот код обладает высокой помехоустойчивостью, низкими требованиями к нелинейным искажениям в канале и более эффективным использованием полосы канала по сравнению с одночастотными кодами. Применяемые сравнительно широкие полосы пропускания частотных избирателей не позволяют, однако, реализовать теоретически возможную эффективность передачи этого кода. В ТИ наиболее широко распространен обычный двоичный последоват. код на все сочетания. Это объясняется, с одной стороны, более остро стоящей в ТИ проблемой эффективности, а с другой— простотой кодирующих устройств. Применяется также двоично-десятичный код и рефлексный код Грея.

Процессы К. и декодирования в телемеханике являются во многих случаях процессами

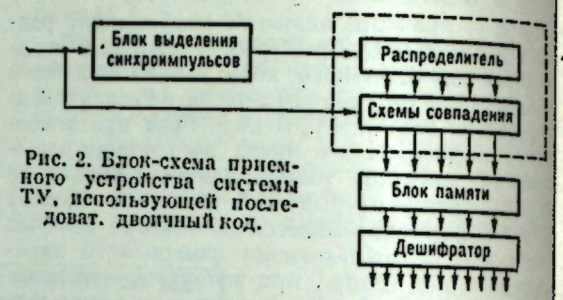


Рис. 2. Блок-схема приемного устройства системы ТУ, использующей последоват. двоичный код.

с многократным промежуточным перекодированием, т. е. включают в себя замену одних элементов комбинирования другими (смена алфавита). Перекодирование позволяет упростить задачу реализации передающего и приемного устройств с помощью набора нек-рых стандартных блоков перекодирования, шифрации и дешифрации со стандартными для каждого из блоков входными сигналами. На рис. 2 приведена одна из возможных блок-схем приемного устройства последоват. двоичного кода. Блоки распределителя и совпадения производят преобразование последоват. двоичного кода в двоичный код с многопроводным разделением элементов комбинирования и амплитудными импульсными признаками. Особенностью этого кода является неодновременность передачи отдельных элементов кода по различным цепям. Блок памяти превращает этот код в параллельный, а дешифратор производит преобразование этого кода в управляющие воздействия на определ. выходные цепи, напр. в ток в обмотках выходных реле, достаточный для их срабатывания. В рассмотренной схеме до окончат. дешифрации происходит 2-кратное перекодирование. На рис. 3 приведена блок-схема передающего устройства системы ТУ, использующей 2-частотный параллельный код. В процессе кодирования в системах ТУ обычно участвует человек. Нажатием одной из кнопок он превращает сообщение в двоичный код C_n^1, у к-рого элементами являются кнопки с 2 состояниями — «нажато», «отжато». Шифратор превращает этот код в параллельный двоичный код C_n^2 с проводным разделением, элементами к-рого, напр., являются контакты реле для включения генераторов синусоидальных колебаний. Генераторы превращают этот код в



Рис. 3. Блок-схема передающего устройства системы ТУ, использующей 2-частотный параллельный код.

п а р а л л е л ь н ы й д в о и ч н ы й к о д с п р о в о д н ы м р а з д е л е н и е м и а м п л и т у д н ы м и п р и з н а к а м и импульсов, а сумматор — в окончат. код — д в о и ч н ы й, п а р а л л е л ь н ы й с ч а с т о т н ы м р а з д е л е н и е м и а м п л и т у д н ы м и п р и з н а к а м и импульсов. Многократное перекодирование позволяет использовать блочный принцип построения систем телемеханики. Напр., для построения передающего устройства системы с последоват. двухчастотным кодом перед блоком сумматора (рис. 3) необходимо добавить распределит. блок, превращающий параллельный многопроводный код в многопроводный код с последоват. посылкой.

Г. А. Шастова, В. В. Наумченко.

КОДИРУЮЩАЯ ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВАЯ ТРУБКА (cathode-ray coder; codeur à tube collimateur; Elektronenstrahl-Codierungsröhre) — электроннолучевой прибор, преобразующий входной сигнал в серию последовательных импульсов, соответствующих определенной кодовой системе. Простейшим устройством для преобразования электрич. сигнала в двоичный код служит система (рис. 1),

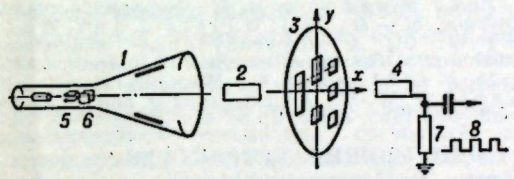


Рис. 1. Система для преобразования непрерывного сигнала в цифровой или двоичный код.

где используется ЭЛТ *1* с люминесцентным экраном, обладающим коротким послесвечением, объектив *2*, кодирующая пластина *3* и фотоэлектронный умножитель (ФЭУ) *4*. Элементы кодирующей пластины могут быть выполнены в виде щелей (при работе на просвет) или могут представлять собой диффузно отражающую поверхность, световой поток с к-рой направляется на фотокатод ФЭУ (при работе на отражение). Напряжение преобразуемого сигнала, определяющее положение светового пятна на экране трубки в направлении оси y, т. е. уровень, на к-ром световой поток пересекает щели кодовой пластины, подается на одну пару отклоняющих пластин *5*, на др. пару пластин *6* подается напряжение, перемещающее световое пятно в направлении оси x. Световые импульсы, попадая на фотокатод ФЭУ, создают на его нагрузке *7* напряжение, эквивалентное входному напряжению сигнала. В результате каждая серия электрич. импульсов на выходе ФЭУ *4* представляет собой закодированный в двоичной кодовой системе входной сигнал *8*. Такая система, однако, слишком громоздка, требует спец. объективов и ФЭУ. Поэтому для кодирования электрич. сигналов используются ЭЛТ, в к-рых кодирующая пластина располагается либо непосредственно на экране трубки с внешней стороны (ЭЛТ с внешней кодирующей пластиной), либо помещается внутрь трубки. В ЭЛТ с внешней кодирующей пластиной непрерывные электрич. сигналы преобразуются в соответствующий код модуляцией тока вторичной эмиссии с люминесцентного экрана перем. напряжением ВЧ, подаваемым на элементы кодирующей пластины. Эти элементы представляют собой металлич. покрытие, нанесенное извне на стекло экрана трубки. Схематич. устройство такой ЭЛТ и осциллограмма выходного напряжения показаны на рис. 2. Когда электронный луч попадает на область к.-л. кодирующего элемента *1*, то под действием

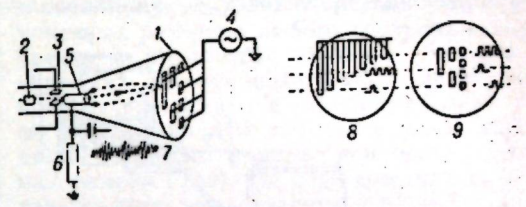


Рис. 2. Схема устройства ЭЛТ с внешней кодирующей пластиной.

приложенного к элементу перем. напряжения *4* равновесный потенциал экрана изменяется (относительно установившегося значения, принимаемого при отсутствии ВЧ напряжения на кодирующем элементе). Это вызывает изменение тока вторичной эмиссии с экрана трубки, переменная составляющая к-рого создает на сопротивлении *6* в цепи коллектора *5* выходное импульсное напряжение *7*. В качестве коллектора вторичных электронов может быть использован один из электродов электронно-оптич. системы трубки. Напряжение входного сигнала подается на отклоняющие пластины *2*, а напряжение развертки — на пластины *3*. В трубках с внешней кодирующей пластиной, преобразующих сигнал в двоичный *9* или цифровой *8* коды, имеет место линейная зависимость амплитуды выходных импульсов от напряжения на кодирующих элементах (в пределах от 3 до 20 *в*) при скорости развертки 3000 *мм/сек*. Частота модулирующего напряжения составляет 1—3 *Мгц*, а ширина кодирующих элементов и расстояние между ними — соответственно 2 *мм* и 1 *мм*. Использование соответствующих источников питания и методов разверток позволяет

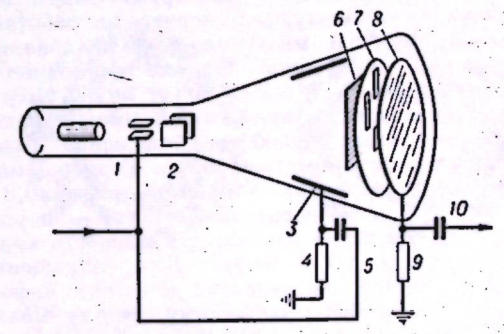


Рис. 3. Схема устройства ЭЛТ для кодово-импульсной модуляции.

получать скорости преобразования до 10^6 импульсов в секунду. При кодово-импульсной модуляции кодирование входного сигнала осуществляется трубкой, кодирующая пластина к-рой помещена непосредственно в колбе трубки (рис. 3). Напряжение кодируемого сигнала подается на отклоняющие пластины *1*, напряжение развертки — на пластины *2*. При пересечении электронным лучом щелей кодирующей пластины *7* в цепи *9—10* коллектора первичных электронов *8* возникает серия импульсов, эквивалентных входному сигналу.

Чтобы амплитуда напряжения входного сигнала была постоянной в течение всего периода развертывающего напряжения, непрерывно меняющийся входной сигнал заменяется ступенчатым. Перед кодирующей пластиной помещается направляющая сетка *6*, состоящая из параллельных проволочек, к-рая направляет

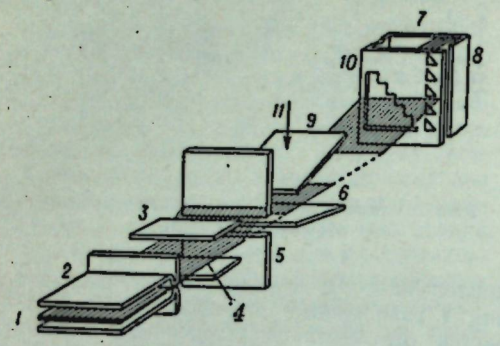


Рис. 4. Схема устройства ЭЛТ для преобразования непрерывного сигнала в квантованный по амплитуде сигнал.

электронный луч в середину соответствующих кодирующих элементов. Вторичные электроны, выбиваемые из сетки электронным лучом, улавливаются коллектором *3*. Перем. составляющая напряжения *5*, возникающая при отклонении луча от середины промежутка между проволочками направляющей сетки, снимается с нагрузки *4* коллектора вторичных электронов *3* и используется как напряжение обратной связи. Последнее подается на пластины *1* и удерживает электронный луч строго на заданном уровне кодирования (определяемом напряжением входного сигнала); тем самым устраняется перескакивание луча с одного уровня кодирования на другой. Макс. значение напряжения обратной связи в 3—5 раз превышает напряжение, необходимое для отклонения луча между этими уровнями. Для устранения потерь полезной информации во время обратного хода развертывающего напряжения используются 2 поочередно работающие трубки. В многоканальной кодово-импульсной телефонной системе применяется кодирующая ЭЛТ с 7-значным кодом. Кодирующая пластина такой трубки имеет 7 рядов прямоугольных щелей, расположение к-рых определяется принятым кодом. Размер самых малых кодирующих элементов равен 0,3×1,5 *мм*; ускоряющее напряжение — порядка 1 *кв*; ток луча 10 *мка*; длительность кодовой группы 10,5 *мксек*. Для сокращения полосы частот или передачи дополнит. информации по одному частотному каналу может быть применена ЭЛТ для преобразования непрерывного сигнала в дискретный и квантованный по амплитуде сигнал. Одновременно с квантованием сигнала такая ЭЛТ разделяет во времени входной видеосигнал и образует разностный выходной сигнал (рис. 4). В трубке электродами *1*, *2* формируется тонкий плоский ленточный луч *4*, проходящий между всеми управляющими электродами. На отклоняющие пластины *3* подается напряжение амплитудно-импульсной модуляции, к-рое перемещает луч вверх и вниз относительно щели *5*. Модулированный таким образом луч *6* проходит вторую пару отклоняющих пластин *9*, на к-рые подается напряжение входного сигнала *11*, отклоняющее луч вверх или вниз относительно квантующего электрода *10*. Квантующий электрод представляет собой плоскую пластинку со ступенчатообразными и треугольными отверстиями. Ток луча, проходящий через отверстия квантующего электрода и создающий квантованный выходной сигнал на нагрузке в цепи коллектора, увеличивается резкими скачками по мере того, как входной сигнал сдвигает луч книзу. Часть тока луча, прошедшего через треугольные отверстия, пропорциональна разности между входным и квантованным выходным сигналами. Этот ток образует в цепи коллектора разностный сигнал, к-рый затем используется в приемном устройстве для выделения второго сигнала. Напряжение, прикладываемое к отклоняющим пластинам *3*, может быть синусоидальным с частотой, равной половине частоты квантования. Для систем, передающих два телевиз. сигнала по одному частотному каналу, разработаны ЭЛТ с током луча порядка 100 *мка* и толщиной ленточного луча 0,1 *мм*. Трубки работают при частоте модулирующих импульсов до 5 *Мгц* и линейном изменении напряжения на сигнальных пластинах длительностью 1 *мксек*.

Лит.: Мулярров М. Я., Электронно лучевые приборы, М.—Л., 1954; Willis J. and Hartley M. G., A cathode-ray tube analogue-to-serial digital converter, «J. Scient. Instrum.», 1958, v. 35, № 6; Stone R. P., Mueller C. W. and Webster W. M., A time-sampling and amplitude-quantizing tube, «Proc. I. R. E.», 1955, v. 43, № 8.

В. У. Седунов.

КОДИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО (coder; codeur; Codierungseinrichtung) — устройство (схема) для преобразования сообщения в сигнал в соответствии с определенным *кодом*. Часто К. у. представляет собой матричную схему. Элементы совпадения матрицы выполняются на ламповых, магнитных и ПП элементах. Схема магнитного К. у. для преобразования десятичного кода в двоичный на восемь позиций показана на рис. 1. Наличие

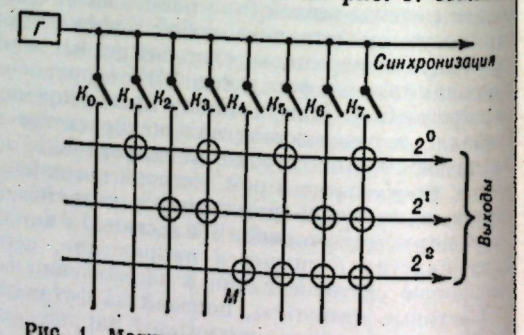


Рис. 1. Магнитное кодирующее устройство: *Г* — генератор; *К* — ключи; *М* — магнитные сердечники.

сердечника на перекрестии создает возможность передать при нажатии ключа сигнал из вертик. шины от генератора в соответствующие горизонт. шины, причем образуется двоичный код десятичного номера ключа ($M=8$, $N=3$). Аналогично можно также преобразовать в двоичный код символы любого алфавита. В системах автоматич. управления часто квантование по уровню и кодирование осуществляются в одном устройстве. Обычно кодируются электрич. сигналы или механич. движения (поворот или линейное перемещение), поэтому, как правило, величины другой физич. природы предварительно преобразуются в одну из этих двух форм.

К. у. для электрич. сигналов строятся либо по принципу сравнения, либо с промежуточным преобразованием величины сигнала во временной интервал. В первом случае используется схема делителя на сопротивлениях, или схема «взвешивания» (рис. 2), в к-рой

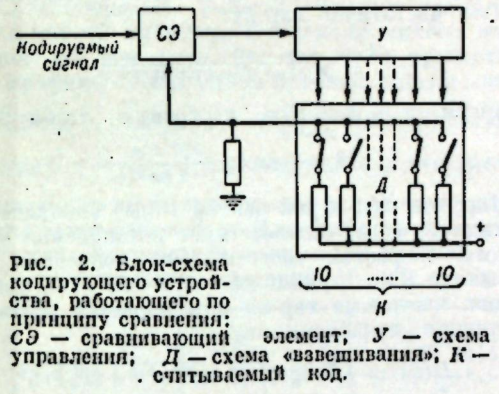


Рис. 2. Блок-схема кодирующего устройства, работающего по принципу сравнения: *СЭ* — сравнивающий элемент; *У* — схема управления; *Д* — схема «взвешивания»; *К* — считываемый код.

ток каждой параллельной ветви пропорционален «весу» соответствующего разряда кода. Поочередно каждая из ветвей с помощью переключающих элементов (напр., реле) подсоединяется к суммирующему сопротивлению. Как только напряжение на нем сравняется с входным сигналом с точностью до величины кванта шкалы, этот процесс прекращается и производится считывание состояний переключателей в виде знаков кода. Во втором случае основными элементами К. у. являются генератор линейно нарастающего напряжения и счетчик импульсов. Счетчик суммирует импульсы, поступающие периодически от к.-л. источника до тех пор, пока линейно нарастающее напряжение не сравняется с входным сигналом. Затем производится считывание показания счетчика в цифровой форме. Точность К. у. этих двух типов определяется качеством сравнивающих элементов и лежит в пределах до 0,05%.

При кодировании механич. движений достигается значительно бóльшая точность (до 0,001%) благодаря тому, что механич. детали могут быть выполнены более точно, чем элементы электрич. цепей, и вследствие применения оптич. устройств. К. у. для механич. движений строятся по принципу счета квантов шкалы или по принципу чтения кода квантованной шкалы. В устройствах первого типа кванты вращающейся или перемещающейся линейно шкалы преобразуются в импульсы, к-рые затем подсчитываются электронным счетчиком. Счет количества квантов, содержащихся в кодируемой величине, может быть периодич. или реверсивным. Ошибка в К. у. такого рода не превышает одного кванта шкалы. К. у., действующие по принципу чтения, основаны на использовании либо матричных электрич. схем, либо спец. кодовых элементов. Недостатком матричных схем является необходимость в большом количестве диодов, особенно при значит. числе уровней квантования, поэтому они применяются сравнительно редко. Примером кодовых элементов могут служить *кодирующие диски* и кодовые пластины, на к-рых число дорожек (соответственно кольцеобразных или прямолинейных) равно числу разрядов кода. Каждая дорожка состоит из прозрачных и затемненных или проводящих и изоляционных участков. Воспринимающими органами в первом случае служат фотоэлементы, а во втором — контактные щетки. Характерной особенностью К. у. этого типа является возможность образования ложных кодов в тех точках шкалы, где одновременно изменяются знаки в неск. разрядах. Это происходит вследствие конечных размеров любого воспринимающего органа и перекрытия смежных участков на дорожках. Ошибка может быть очень большой, поэтому принимаются различные меры для ее уменьшения и в том числе используются циклич. системы кодирования (напр., двоичная система Грея), где коды соседних уровней квантования различаются только одним знаком и, следовательно, ошибка не превышает одного кванта шкалы. О К. у. систем ТУ см. *Шифратор* устройств ТУ.

Лит.: Таланцев А. Д., Преобразователи углов поворота и линейных перемещений в цифровую форму, «АиТ», 1959, т. 20, № 3.

В. М. Байковский, Г. Б. Смирнов.

КОДИРУЮЩИЙ ДИСК (disc coder; codeur à disque; Codierungsscheibe) — устройство для преобразования в цифровую форму величин угловых перемещений вала. На К. д. наносится геометрическое изображение цифрового *кода*. Знаки разрядов кода наносятся на концентрич. дорожки, причем ближе к периферии располагаются младшие (менее значащие) разряды. В зависимости от способа съема кода (контактного, фотоэлектрического, электромагнитного, индукционного, электростатического и т. п.) геометрич. изображение кода составляется из участков электропроводящих и электроизолированных, прозрачных и непрозрачных, магнитных и немагнитных и т. п. Когда кодированию подлежит угловое перемещение стрелки первичного измерит. прибора, угловой размах шкалы к-рого меньше 360°, К. д. заменяется кодирующим сектором. Преимуществ. распространение получили К. д. с разновидностями двоичного кода, исключающими возникновение ошибок при переходе через границы отдельных дискретных участков,

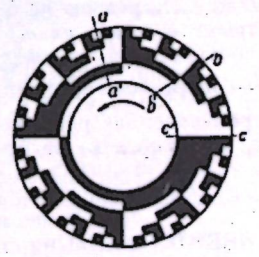


Рис. 1.

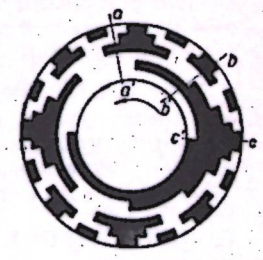


Рис. 2.

Рис. 1. Кодирующий диск с изображением обычного двоичного кода: a—a'; b—b'; c—c' — положения считывающих устройств, при к-рых возникает ошибка считывания.

Рис. 2. Кодирующий диск с изображением рефлексного двоичного кода: a — a'; b—b'; c—c' — положения считывающих устройств, при к-рых возникает ошибка считывания.

когда нек-рые разряды могут считываться по одну сторону границы, а нек-рые — по другую (из-за неточной установки съемных устройств или из-за неодноврем. считывания кода в процессе вращения К. д.). К числу таких кодов относятся т. н. фау-код (код Баркера) и рефлексный код (код Грея). Первый из них отличается тем, что изображение на К. д. выполняется в соответствии с обычным двоич-

ным кодом (рис. 1), но для съема используются по два смещенных устройства на каждый разряд, за исключением младшего. При этом выбор устройства, с к-рого должен в данный момент считываться код, определяется значением предыдущего младшего разряда кода. Второй код отличается тем, что на границе между любыми дискретными участками К. д. изменяется значение только к.-л. одного разряда (рис. 2), в силу чего ошибка считывания не может превышать единицы младшего разряда. Появление ошибок считывания иллюстрируется различными положениями «линии считывания» на приведенных рис.. Рефлексный код не увеличивает число съемных устройств для считывания, но требует последующего преобразования его в обычный двоичный код.

Лит.: Основы автоматического регулирования, под ред. В. В. Солодовникова, т. 2, ч. 2, М., 1959; Клейн М. Л., Морган Г. С., Аронсон М. Г., Цифровая техника для вычислений и управления, пер. с англ., М., 1960. *Я. А. Купершмидт.*

КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ СКОРОСТЬ (oscillation speed; vitesse d'oscillation; Schwingungsgeschwindigkeit, Schwingfrequenz) — скорость, с к-рой колеблется к.-л. точка среды под действием звукового поля. По определению К. с. является первой производной по времени от смещения ξ: $v=\frac{d\xi}{dt}$. В случае гармонич. колебаний $\xi=\xi_m e^{j\omega t}$, где ξ_m — амплитуда смещения, ω — круговая частота; отсюда $v=j\omega\xi_m e^{j\omega t}=jv_m e^{j\omega t}$. Другими словами, амплитуда скорости пропорциональна амплитуде смещения и круговой частоте, а фаза сдвинута по отношению к фазе смещения на $\pi/2$. К. с. не следует смешивать со скоростью распространения звуковых волн c, к-рая не зависит ни от частоты, ни от амплитуды, а является физич. хар-кой среды, в к-рой звук распространяется. Как и при всяком гармонич. колебании наряду с мгновенным значением скорости v и ее амплитудой v_m часто применяют эффективное значение скорости $v_э=v_m/\sqrt{2}$. Для плоской волны между скоростью v, *звуковым давлением* p и *интенсивностью ультразвука* J справедливы соотношения $p/v=\varrho_0 c$; $J=\frac{1}{2}v_m^2\varrho_0 c$, где $\varrho_0 c$ — волновое сопротивление среды, равное произведению равновесной плотности среды ϱ_0 на скорость распространения звука в ней c.

Лит.: Горелик Г. С., Колебания и волны, 2 изд., М., 1959. *Л. Д. Розенберг.*

КОЛЕБАТЕЛЬНОЕ ЗВЕНО (oscillating circuit; circuit oscillatoire; Schwing-Glied, schwingendes Glied) — простейшая составная часть структурной схемы САР, имеющая передаточную функцию вида $W(s)=K/(T^2S^2+2\xi TS+1)$ (для устойчивого К. з.). Примеры К. з.: электрич. цепь, составленная из индуктивности, сопротивления и емкости; масса, подвешенная на пружине и снабженная катарактом; сообщающиеся сосуды, соединенные через гидравлическое сопротивление, и т. д. Динамические свойства К. з. описываются линейным дифференциальным уравнением 2-го порядка:

$$T^2\frac{d^2x_2}{dt^2}+2\xi T\frac{dx_2}{dt}+x_2=kx_1,$$

где T — постоянная времени, ξ — относит. коэфф. затухания, k — коэфф. усиления.

Амплитудная фазовая характеристика К. з. определяется выражением:

$$W(j\omega)=\frac{k}{\sqrt{(1-T^2\omega^2)^2+4\xi^2T^2\omega^2}}e^{-j\operatorname{arctg}\frac{2\xi T\omega}{1-T^2\omega^2}}.$$

Модуль этой ф-ции представляет амплитудную частотную хар-ку:

$$A=\frac{k}{\sqrt{(1-T^2\omega^2)^2+4\xi^2T^2\omega^2}},$$

аргумент — фазовую частотную хар-ку:

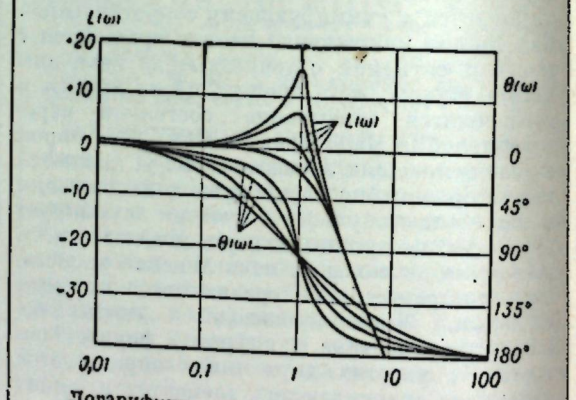
$$\theta=-\operatorname{arctg}\frac{2\xi T\omega}{1-T^2\omega^2}.$$

Частота, при к-рой вектор $W(j\omega)$ совпадает с мнимой осью, соответствует резонансной частоте. С ростом частоты фаза колебания на выходе К. з. приближается к 180°. Логарифмич. частотные хар-ки определяются соответственно выражениями:

$$L(\omega)=-20\lg\sqrt{(1-T^2\omega^2)^2+(2\xi T\omega)^2},$$

$$\theta(\omega)=-\operatorname{arctg}\frac{2\xi T\omega}{1-T^2\omega^2}.$$

На рис. показано типовое семейство логарифмич. частотных хар-к К. з.



Логарифмич. частотные хар-ки колебательного звена.

Наряду с устойчивым К. з. встречаются также неустойчивые К. з. Их хар-ки могут быть получены из приведенных выше, путем замены положит. знака у ξ на отрицательный. При $\xi=0$ К. з. обращается в консервативное.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954. *В. И. Гуков.*

КОЛЕБАТЕЛЬНОСТИ ПОКАЗАТЕЛЬ (index of oscillation; indice d'oscillation; Schwingfähigkeits-Anzeiger) — отношение максимума амплитудной частотной характеристики замкнутой системы к значению амплитуды при частоте $\omega=0$ (рис. 1). К. п. характеризует склонность системы автоматич. управления к колебаниям. С его увеличением возрастает колебательность процесса в системе.

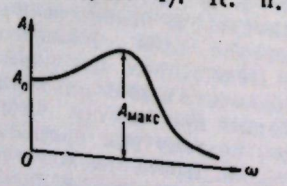


Рис. 1.

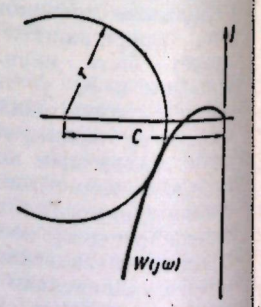


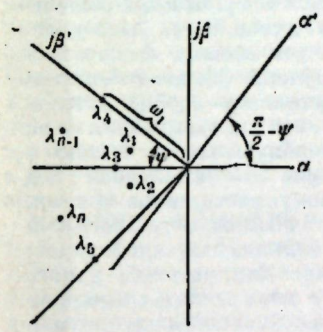
Рис. 2.

На границе устойчивости К. п. равен бесконечности. Экспериментально установлено, что для системы, обладающей удовлетворит. качеством процессов, он не должен превышать 1,3—1,5. К. п. может быть определен непосредственно по *амплитудной частотной характеристике* замкнутой системы, а также по *амплитудной фазовой характеристике* разомкнутой системы. Последний способ основан на том (рис. 2), что если провести на графике амплитудной фазовой хар-ки окружность с радиусом $r=\frac{M}{M^2-1}$ и координатой центра $C=-\frac{M^2}{M^2-1}$, касающуюся амплитудной фазовой хар-ки, то значение M для этой окружности будет равно К. п. Для удобства построения этих окружностей вычислены значения r и C для различных значений M (см. табл.)

M	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2
r	∞	2,73	1,46	1,03	0,84	0,66	0,53
C	∞	−3,27	−2,04	−1,64	−1,47	−1,33	−1,24

Ю. С. Попков.

КОЛЕБАТЕЛЬНОСТЬ (property to oscillate; propriété oscillatoire; Schwingfähigkeit) — косв. показатель качества процессов регулирования, численно равный тангенсу половины угла 2ψ, внутри и на границе которого расположены все корни характеристич. ур-ния, соответствующего устойчивой линейной системе (рис.). Для определения $\mu=\operatorname{tg}\psi$ нужно повернуть координатные оси $(\alpha, j\beta)$ плоскости корней против часовой стрелки на угол $\frac{\pi}{2}-\psi$ с тем, чтобы корень нового характеристич. ур-ния, полученного из старого путем замены переменной $\lambda=qe^{j(\frac{\pi}{2}-\psi)}=jqe^{-j\psi}$, оказался на мнимой оси $j\beta'$. В это ур-ние, коэфф. к рого являются комплексными числами, подставляют $q=j\omega_1$ и отделяют действительную u и мнимую v части, каждая из к-рых зависит от ψ, ω_1 и известных коэфф. исходного характеристич. ур-ния. Приравнивая $u=0$ и $v=0$, можно найти две неизвестные величины ψ и ω_1 и, соответственно, μ.



Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

В. Ю. Рутковский.

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ КОНТУР (oscillating circuit; circuit oscillant; Schwingkreis, Schwingungskreis) — см. *Контур электрический.*

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС (oscillating process; processus oscillatoire; Schwingvorgang, Schwingungsvorgang) — процесс, обладающий той или иной степенью повторяемости (рис. 1). Все К. п. разделяются на 2 класса: периодич. и непериодические. В теории пользуются еще промежуточные классом — почти периодич. колебания. Периодическим наз. такой К. п., при к-ром характеризующая этот процесс величина, взятая в любой момент времени, через определенный отрезок времени T имеет то же самое значение (рис. 2). Ф-ция $f(t)$, являющаяся математич. выражением К. п., наз. периодической с периодом T, если она удовлетворяет условию $f(t+T)=f(t)$. Среди класса периодич. К. п. главную роль играют гармонич. или синусоидальные колебания, при к-рых изменение физич. величины со временем происходит по закону синуса или косинуса. Их общая запись имеет вид:

$$y=f(t)=a\cos\left(\frac{2\pi}{T}t-\varphi\right),$$

где a — амплитуда колебаний, φ — фаза колебаний, $\frac{1}{T}=\nu$ — частота, а $2\pi\nu=\omega$ — циклическая или круговая частота колебаний.

Почти периодич. ф-ция, соответствующая почти периодич. колебаниям, определяется условием:

$$|f(t+\tau)-f(t)|\leqslant\varepsilon,$$

где ε — заданная величина, при любом значении t. Величина τ наз. в этом случае почти периодом. Если величина ε очень мала по сравнению со ср. значением $|f(t)|$ за время τ, то почти периодич. функция будет близка к периодической.

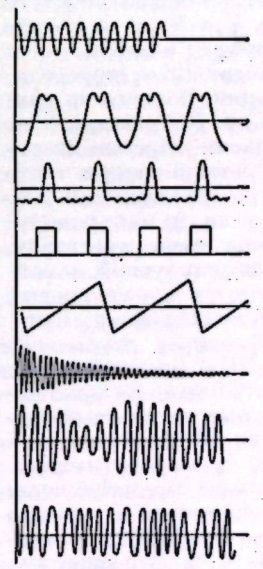


Рис. 1.

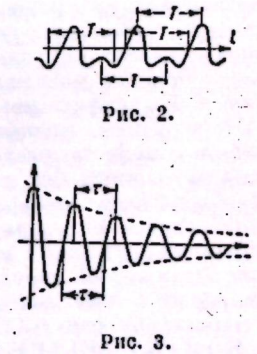


Рис. 2.

Рис. 3.

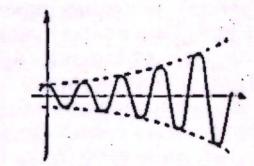


Рис. 4.

Непериодич. колебания гораздо разнообразнее периодических. Но чаще всего в автоматике приходится встречаться с затухающими или нарастающими синусоидальными колебаниями. Колебания по закону затухающей синусоиды или, как их иногда называют, затухающие гармонич. колебания (рис. 3) можно представить в общем виде:

$$x=Ae^{-\delta t}\cos(\omega t+\varphi),$$

где t — время, A и φ — произвольные постоянные. Общая запись закона нарастающих гармонических колебаний (рис. 4) отличается только знаком у коэфф. затухания δ[1/сек].

Лит.: Булгаков Б. В., Колебания, ч. 1—3. М., 1954; Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959. *Е. Ф. Самбурова.*

КОЛЕБАТЕЛЬНЫЙ РЕЖИМ (oscillating conditions; régime oscillatoire; Schwingzustand, Schwingungszustand) — см. *Колебательный процесс.*

КОМАНД МОДИФИКАЦИИ (instruction modification; modification d'instructions; Modifikation der Kommandos) — автоматич. преобразование команд программы в процессе вычислений, обеспечивающих многократное использование одних и тех же команд программы для обработки данных, расположенных в различных местах ЗУ. Наиболее часто преобразовывается адресная часть команд. К. м. можно осуществлять в АУ машины, в спец. адресных сумматорах с использованием индексных регистров или непосредственно на регистре команд. В первом случае можно выбирать произвольный порядок и шаг модификации. Однако это связано с увеличением команд программы и времени решения за счет К. м. и команд восстановления. Во втором случае К. м. выполняется сложением кода адреса со значением индексного регистра в процессе прохождения кода адреса с регистра команд на дешифрирующие цепи. Шаг модификации и признак модифицируемого адреса должны задаваться спец. командами или отдельными разрядами модифицируемой команды. К. м. с помощью индексных регистров не требует восстановления команд, сокращает количество команд и увеличивает скорость выполнения программы. Для К. м. с применением индексных регистров используется иногда способ управляющих слов, определяющих порядок модификации, количество циклов, шаг модификации и др. («Стретч», США).

Непосредств. модификация адресов на регистре команд осуществляется в каждом такте работы машины без спец. обращений к ЗУ. Необходимость модификации и модифицируемые адреса определяются спец. предварит. командой или самой модифицируемой командой. Этот способ используется для групповых операций с пост. шагом модификации, напр. в машине «Стрела» (СССР). *И. А. Данильченко.*

КОМАНД СИСТЕМА ЭЦМ (instruction system; système d'instructions; Kommando-System) — совокупность всех возможных (попарно различных) команд ЭЦМ. Количество команд, входящих в К. с., весьма велико. Напр., если каждая команда представляется в виде n-разрядного двоичного кода, то это количество равно 2^n (так, для ЭЦМ «Стрела» $n=43$; при этом $2^n \approx 8{,}7 \cdot 10^{12}$). Для описания К. с. ее разбивают на части, в каждую из к-рых входят команды одинаковой структуры, т. е. команды, к-рые одинаковым образом разбиваются на коды операций (указывающие, какие действия должна выполнять машина) и адреса (указывающие номера ячеек ОЗУ или зон магнитного барабана или магнитной ленты, откуда должны быть взяты исходные данные или куда должны быть записаны результаты). Иногда каждая команда состоит из кода операции, адресов и т. п. признаков. В командах, объединяемых в одну часть К. с., одинаково расположенные коды операций, адреса и признаки должны состоять из одинаковых количеств разрядов. Обозначая каждую часть структуры команды буквой, получают общий вид команды для данной части К. с. Напр., К. с. машины «Стрела» состоит из единственной части, и общий вид команды можно записать в виде a_1, a_2, a_3, k, θ, где a_1, a_2, a_3 — соответственно 1, 2 и 3-й адреса, k — признак, наз. контрольным знаком, а θ — код операции. Для более сложных ЭЦМ приходится К. с. разбивать на несколько частей (напр., для машины «Урал-2»).

После получения общих видов команд каждую часть К. с. разбивают на группы так, чтобы в каждую вошли команды с одинаковым кодом операции. Общий вид команды, принадлежащий такой группе, наз. типом команды и отличается от ранее полученного буквенного общего вида тем, что в нем буква, обозначающая код операции, заменена истинным кодом операции. Затем составляют таблицу, в к-рой перечисляют все типы команд, и описывают действия машины при выполнении команд каждого типа. Такая таблица является обязательной составной частью описания каждой программно-управляемой машины и необходимым справочным материалом для программистов. Наиболее подробное и точное описание действий машины при выполнении команд каждого типа дает логическая схема ЦВМ. Совокупность типов команд ЦВМ также наз. К. с.

При проектировании ЦВМ ее К. с. разрабатывается в первую очередь. При этом большое внимание уделяют удобству К. с. для программирования и стремятся к тому, чтобы количество упомянутых выше частей К. с. было невелико, чтобы каждый тип команд легко запоминался и чтобы получение из него конкретных команд не представляло особых затруднений, чтобы типы команд допускали при программировании удобную *запись команд и чисел комбинированную*. В дальнейшем под К. с. понимается совокупность типов команд.

К. с. определяет возможности ЦВМ и удобство ее для решения тех или иных задач. ЦВМ, предназначенная для решения узкого (наз. определяющим) класса задач, должна обладать К. с., приспособленной к алгоритмам решения этих задач. При разработке специализиров. ЦВМ составляют несколько вариантов К. с. и сравнивают между собой. Для каждого варианта К. с. составляют так наз. операц. спектр (перечень элементарных операций машины, предусматриваемых командой данного типа) и проверяют, чтобы он содержал все операции, необходимые для решения задач определяющего класса. Затем подсчитывают операционность каждого типа команд, т. е. число операций в его спектре. Ср. арифметическое операционностей типов команд наз. статич. операционностью К. с. Высокая статич. операционность К. с. говорит о возможности составления при данной К. с. компактных программ, но для специализиров. ЦВМ она должна сопровождаться целесообразным сочетанием операций внутри каждой команды. Повышение статич. операционности К. с. связано с увеличением оборудования, а следовательно, и стоимости ЦВМ. Для выбора варианта К. с. составляют эксперимент. программы для решения типичных задач. При этом для каждого варианта К. с. разрабатывают свои логич. схемы программ, учитывающие его специфику. В получ. вариантах программ подсчитывают количества команд. Затем, выполняя варианты программ (с помощью интерпретирующих программ на универсальных ЦВМ), определяют: 1) количество рабочих тактов и ориентировочный расход машинного времени; 2) объем ЗУ, необходимый для хранения промежуточных результатов; 3) частоту выполнения каждого типа команд $\frac{n}{N}$ (N — общее количество выполненных при прокрутке команд, а n — количество выполненных команд данного типа); 4) динамич. операционность каждого типа команд, равную $\frac{\sum_{i=1}^{n} \mu_i}{n}$ (μ_i — количество операций из состава операционного спектра, используемых для решения задачи при i-том случае выполнения команды данного типа). Ср. арифметическое динамич. операционностей типов команд наз. динамич. операционностью К. с.

Из нескольких вариантов К. с. лучшим считается тот, к-рый позволяет получить наиболее короткие программы, требующие наименьшего объема ЗУ для хранения промежуточных результатов, и выполняющиеся с наименьшим расходом машинного времени. Разность статич. и динамич. операционностей выбранного варианта К. с. позволяет судить о том, насколько целесообразны сочетания операций в различных командах, т. е. насколько данный вариант К. с. приспособлен к заданному классу задач. Чем меньше эта разность, тем приспособленность выше. Большой расход труда, затрачиваемого при разработке К. с. специализиров. ЦВМ, окупается повышением ее эффективного быстродействия, удобства программирования и сокращением объема программ. Оценки вариантов программ целесообразно производить не вручную, а на универс. ЦВМ с помощью спец. анализирующих программ. *И. А. Кринецкий.*

КОМАНД ФОРМИРОВАНИЕ (instruction forming; formage d'instructions; Kommando — Bildung, Formierung der Kommandos) — предусмотренное в программе составление нек-рых команд или групп команд этой программы в процессе ее выполнения на машине. Необходимость К. ф. возникает в тех случаях, когда нек-рые команды программы заранее составить невозможно, т. к. их вид зависит от промежуточных результатов счета или значений параметров, к-рые станут известными лишь после выполнения части программы. Прерывать решение задачи для составления таких команд вручную нецелесообразно. Поэтому в программу включают группы команд, наз. операторами формирования, к-рые предназначены для формирования команд и обозначаются в логич. схемах программ символом Φ. Применяемые при этом операторы подразделяют на операторы формирования по промежуточным результатам и операторы формирования по параметрам. Весьма часто К. ф. применяют для уменьшения «длины» программы. Если в программе необходимы неск. групп команд, к-рые легко можно преобразовать одну в другую, то в программу включают лишь одну из этих групп и оператор, в нужное время преобразующий эту группу команд в др. группу. Частными случаями такого вида К. ф. являются *переадресация команд* и *восстановление команд в программах*, при к-рых преобразованию (соответственными операторами) подвергаются лишь адресные части команд. Операторы переадресации и операторы восстановления по их роли в программах можно было бы назвать операторами формирования по параметрам, однако, благодаря своему большому значению и распространенности в программах, они получили особые названия и стандартные обозначения. Иногда К. ф. не связано ни с промежуточными результатами счета, ни со значениями параметров, а обусловлено лишь структурой программы, задуманной программистом. Операторы, выполняющие при этом К. ф., также называют операторами формирования и в логич. схемах программ обозначают символом Φ. *Н. А. Кринецкий.*

КОМАНДА (instruction; instruction; Kommando) — спец. код, определяющий выполнение ЭВМ одной осн. операции, т. е. операции, задаваемой присвоенным ей номером (кодом операции) и входящей в набор операций (сложение, вычитание, умножение, условный переход и т. д.), с помощью к-рых можно задавать машине алгоритм решения задачи. Действия отдельных узлов машины при выполнении осн. операции наз. элементарными операциями. К ним относятся сброс в нулевое положение регистра команд, получение дополнит. кода числа и т. д. Буквенная и число-буквенная кодировки К. применяются при составлении программ; числовая кодировка, кроме того,— для представления К. в машине.

К. различаются своей структурой (форматом) и состоят из трех функционально различных частей: адресной, операционной и служебной. Адресная часть К. используется для размещения адресов операндов, результата операции, а иногда и следующей команды. Операц. часть К. содержит код операции, выполнение к-рой обеспечивает данная К. Служебная часть — различные признаки и коды, определяющие порядок или способ использования остальных частей К., напр. контрольный знак, признаки модификации адресов, непрямой адресации и др.

По количеству адресов, содержащихся в адресной части, К. делятся на одноадресные и многоадресные (см. *Адресность*), а по типу выполняемой операции — на К. арифметич. операций, логич. операций, управления и обмена информацией.

Арифметич. операции задаются К., код операции к-рых определяет саму операцию и тип арифметики (плавающая или фиксиров. запятая), а адреса указывают ячейки в памяти, в к-рых находятся операнды или в которые нужно послать результат. На нек-рых машинах способ работы (плавающая или фиксиров. запятая, в десятичной или двоичной арифметике) задается спец. командами, перестраивающими АУ на требуемый вид работы. Действие этих команд распространяется до следующей команды такого типа.

Адресная часть логич. команд имеет тот же смысл, что и арифметическая. Код операций определяет вид переработки информации. Обычные логич. команды — это поразрядное логич. сложение, умножение или вычитание или к.-н. синтетич. операции, составленные из элементарных логич. операций. Один из видов логич. операций — операция сдвига на n разрядов вправо или влево. Т. к. эта операция является двухкомпонентной, то один из двух адресов в коде команды употребляется для указания адреса сдвигаемого числа, а второй — для непосредств. указания или величины сдвига или адреса ячейки, где находится эта величина.

К. управления определяют режим работы машины и порядок выполнения К. программы. Операции передачи управления делятся на безусловные и условные. Безусловные осуществляют переход всегда в указанное в этой команде место программы; условные действуют в зависимости от того, выполнено или не выполнено определенное логич. условие, к-рое они анализируют. Таким логич. условием может быть любой признак любой операции. Чаще всего им бывает результат предыдущего сравнения. Напр., в случае положит. результата сложения может вырабатываться признак 1 в определ. месте, а в случае отрицательного или нулевого результата — признак 0. Используя команды условных переходов, можно по этому признаку менять ход решения задачи в зависимости от знака результата сложения. Передачи управления могут выполнять и нек-рые дополнит. ф-ции. На трехадресной машине можно, кроме адреса передачи управления, указывать также адрес, по которому нужно запомнить содержимое счетчика команд, т. е. адрес данной команды перехода, а также адрес той ячейки, к-рую нужно стереть, если передача управления реализуется, и т. п. На трехадресных машинах операция сравнения часто совмещена с передачей управления; именно передача управления реализуется в случае выполнения условия, проверяемого этим сравнением.

Команды обращения с индексными регистрами предназначены для изменения, запоминания и стирания содержимого индекс-регистра. Для каждого индекс-регистра достаточно одного адреса.

Команды обращения с устройствами ввода и вывода и промежуточного хранения информации иногда делят на 2 части — подготовительную и исполнительную. К подготовительным относятся команды предварит. нахождения зоны ленты, команды сдвига бумажного рулона при печати, перестройка на другой алфавит. В командах этой группы указываются как адреса (со всеми признаками), так и константы (напр., число вводимых или выводимых кодов).

Кроме этих команд, существуют также К., требующие ручного вмешательства оператора. Их действие обычно заключается в том, что они останавливают соответствующие устройства и программу и включают сигнальные лампы. После того, как оператор выполнит нужную работу, он снова включает машину.

Имеются также команды, код операции к-рых позволяет обратиться к одной из наиболее часто встречаемых стандартных подпрограмм, организованных спец. образом. Такое расширение кода команд позволяет экономить место и время при решении задач, а также работу по подготовке и кодированию программ.

Различают установленный и произвольный порядки выборки К. из ЗУ машины. При установл. порядке К. извлекаются из ЗУ последовательно одна за др. в порядке записи. Для изменения порядка выборки в этом случае требуются спец. К. перехода. При произвольном порядке каждая К. указывает адрес последующей К. Иногда в машинах используются т. н. микрокоманды, определяющие совокупность сигналов, необходимых для выполнения одной элементарной операции. Выполнение каждой осн. операции при этом осуществляется рядом микрокоманд, образующих микропрограмму. Изменяя последовательность и состав микрокоманд, можно менять набор осн. операций машины, приспосабливая его к определенному классу задач. *И. А. Данильченко, И. И. Рика*

КОМАНДА ВОЗВРАТА [return (reset) instruction; commande de restauration; Rückkehr-Kommando] — команда безусловного перехода, автоматически формируемая в центральном УУ ЭЦМ при выполнении команды «передача управления с записью К. в.» (ПУВ). ПУВ применяется для обращения к подпрограмме, т. е. для выполнения перехода к к.-л. участку программы с последующим возвратом к команде, стоящей после ПУВ (или к к.-л. другой, особо указанной команде). Существует неск. способов автоматич. формирования К. в.

В трехадресной машине «Стрела» при выполнении стоящей в ячейке с номером k команды ПУВ a, b, c (где ПУВ — код операции, a, b, c — 1, 2 и 3-й адреса соответственно) в ячейку с номером c записывается К. в., имеющая вид: $БП\ k+1\ k+1\ c$. Если после выполнения команды ПУВ и нек-рого участка программы, начинающегося с ячейки a или b, к к-рому эта команда производит переход (в этом участке запись в ячейку c не делается), выполняется К. в., стоящая в ячейке c, то осуществляется безусловный переход к команде с номером $k+1$, и в ячейку с номером c записывается «пустой» код. Если в дальнейшем управление вновь получает ячейка c, то пустой код вызывает лишь «холостой» такт работы машины, в к-ром никаких арифметич., логич. и т. д. действий не выполняется.

На др. трехадресных машинах применяется команда ПУВ a, b, c, при выполнении к-рой управление передается в ячейку b, а в ячейку c записывается К. в., имеющая вид $БП\ a\ a\ c$. К. в. при своем выполнении передает управление в ячейку a, а в ячейку c записывается «пустой» код. Такая К. в. обладает бо́льшими логич. возможностями, чем К. в. «Стрелы», т. к. a — номер произвольной ячейки и может быть равен номеру следующей после ПУВ команды ($a=k+1$).

В одноадресных машинах труднее реализовать автоматич. формирование К. в., т. к. нет места в коде команды для обозначения номера ячейки, в к-рую должна записываться К. в. Однако на машине «Урал-2» применяется К. в., к-рая формируется командой ПУВ a, записывается в ячейку a и имеет вид $БП\ k+1$, где k — номер ячейки, в к-рой стоит команда ПУВ a. При этом команда ПУВ выполняет передачу управления не к ячейке a, а к ячейке с номером $a+1$. Для обращения по этой команде к подпрограмме, начинающейся с ячейки $a+1$, следует в конце подпрограммы поставить команду безусловного перехода к ячейке a.

К. в. и ПУВ вызывают необходимость включения в состав центрального УУ нек-рых дополнит. цепей, связывающих регистр команд или счетчик команд с цепями записи в оперативное ЗУ. В нек-рых машинах (БЭСМ-I) вместо К. в. и ПУВ применяются 2 счетчика команд. При выполнении программы работает первый счетчик, при выполнении подпрограммы — второй. Когда подпрограмма окончена, продолжается выполнение программы согласно номеру команды на первом счетчике.

Г. А. Миронов

КОМАНДА ТЕЛЕУПРАВЛЕНИЯ (remote-control instruction; instruction de télécommande; Fernsteuer-Kommando) — закодированный приказ, посылаемый посредством устройства ТУ с командного пункта к объекту управления. К. т. предназначена для выполнения телемеханич. операции, результатом к-рой является непосредств. воздействие на исполнит. органы (выключатели, контакторы, сервомоторы, рулевое управление и т. п.). К надежности передачи и приема К. т. предъявляются жесткие требования (см. *Надежность системы телемеханики*). С этой целью часто используются комплектные коды, содержащие пост. число избирающих импульсов. При этом однократное качеств. искажение изменяет число избирающих импульсов, что, как правило, приводит к защитному отказу. Передача К. т. в ответственных случаях делится на две операции: предварительную (контролирующую) и исполнительную (командную). Первая предназначена для контроля правильности действий диспетчера, а в нек-рых случаях и цепей передачи и приема команд, вторая — для осуществления команды. Степень предварит. контроля может быть различна. Обычно диспетчер проверяет правильность выбора соответствующих ключей управления (контроль в цепях кодирования) по загоранию сигнальной лампы в символе управляемого объекта на мнемосхеме. Только после этого осуществляется исполнит. операция. В более ответств. случаях применяется предварит. контроль всего тракта приема — передачи вплоть до индивидуального наборного реле, подключающего оперативные цепи избираемого объекта управления на исполнит. пункте. При этом выполнение предварит. операции сопровождается ответной сигнализацией о выборе заданного наборного реле; по получении сигнала диспетчер осуществляет исполнит. операцию. Разделение передачи К. т. на две части имеет также и психологич. значение: перед принятием окончат. решения диспетчер имеет возможность еще раз осмыслить и проконтролировать свои действия. Предварит. операция осуществляется переключением соответствующих индивидуальных ключей управления, исполнительная — общим ключом или кнопкой, часто наз. пусковой. Перед посылкой К. т. диспетчер должен иметь полную информацию о состоянии контролируемых объектов. В случаях, когда самопроизвольное переключение объектов может изменить решение, принятое диспетчером, применяется т. н. предпочтение ТС перед ТУ. С этой же целью посылка последующей К. т. предпринимается лишь после исполнения предыдущей. В противном случае посланная команда не исполняется. Для повышения оперативности (увеличение быстродействия и сокращение количества диспетчерских операций) применяют «циркулярное» управление, при к-ром одна К. т. управляет всеми или частью объектов. Как правило, циркулярное ТУ применяется лишь в спец. случаях.

При управлении двухпозиц. объектами К. т. часто составляется из двух посылок: кода-выбора позиции («включить» или «отключить»), общей для всех объектов ТУ, и кода-номера (адрес) объекта. Такое решение экономит общее количество кодовых комбинаций и объем аппаратуры, необходимой для выбора объектов ТУ. Пример кода К. т. для распределит. системы с временны́м импульсным признаком приведен на рис.: с помощью первых двух импульсов *ВК*, *ОТ* передается позиция, последующие импульсы — 1, 2, ..., *N* передают номер избираемого объекта. Удлиненные импульсы определяют передаваемую К. т. Так, диаграмма на рис. изображает код К. т. на отключение объекта № 3. Код оканчивается сверхдлинным импульсом, разрешающим исполнение команды.



Диаграмма команды ТУ для распределит. системы с временны́м импульсным признаком.

Скорость передачи К. т. в основном определяется технологич. назначением устройства. Если в операции участвует человек, время передачи порядка секунды считается приемлемым. В телеавтоматич. системах, где команды посылаются без участия человека, время передачи может быть и меньше. На исполнит. пункте, как правило, устанавливается элемент времени, обеспечивающий необходимую выдержку времени, для приведения в действие исполнит. механизмов. Разновидностью К. т. является т. н. операция *телекомандования*, при к-рой приказ диспетчера воспроизводится на исполнит. пункте на световом табло.

К. Г. Митюшкин.

КОМАНДНАЯ МАШИНА (instruction machine; machine à instructions; Kommandomaschine; Kommandogerät) — см. *Управляющая машина*.

КОМБИНИРОВАННАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА (hybrid computer; calculateur hybride; Kombinierte Rechenmaschine) — установка, в к-рой машинные переменные (искомые величины и независимые переменные) представляются как в дискретной (цифровой), так и в непрерывной (аналоговой) формах. Основу К. в. м. составляют цифровые и аналоговые вычислит. устройства, служащие для выполнения математич. и логич. операций и для преобразования машинных переменных из одной формы в др. При построении К. в. м. стремятся использовать только достоинства и освободиться от недостатков машин двух вышеуказ. принципов действия. К достоинствам АВМ относятся высокая скорость решения задач, простота подготовки исходных данных, удобство получения и анализа результатов решения, возможность легко варьировать параметры в решаемой системе, невысокая стоимость, а также простота их схем и конструкций. Однако АВМ имеют огранич. возможности по точности, т. к. даже в самых прецизионных из них погрешности составляют $\pm(0{,}1—0{,}01)\%$, что соответствует 3—4 верным знакам. ЦВМ по точности решения задач имеют бесспорные преимущества и являются более универсальными в отношении типов решаемых задач.

В К. в. м. используется неск. способов представления машинных переменных, к-рым соответствуют различные принципы разделения схемы машины на аналоговую и цифровую части. Давно известен способ комбиниров. измерения физич. величин, при к-ром указывается количество эталонных частей, содер-

жащихся в измеряемой величине, и, сверх того, в непрерывной форме дается поправка, равная разности между измеряемой величиной и ее дискретной частью. Подобным образом и сейчас в различных приборах осуществляются измерения скоростей, давлений, механич. перемещений и т. п. Этот способ может быть использован и для представления машинных переменных в К. в. м., напр. в «груботочных» интеграторах и блоках перемножения. Так, при выполнении операции интегрирования $y=y(0)+\frac{1}{T}\int_0^t x\,dt$ величина x представляется в виде двух слагаемых $x_ц$ и $x_а$; тогда $y=y(0)_ц+\frac{1}{T}\int_0^t x_ц\,dt+y(0)_а+\frac{1}{T}\int_0^t x_а\,dt$. Первые два слагаемых вычисляются цифровым интегратором, вторые — аналоговым, причем т. о., что аналоговая часть результата всегда выдерживается в нек-рых заданных пределах, а разность между этими предельными значениями и полным результатом сохраняется в цифровой части системы. Аналогично при умножении произведение разбивается на четыре слагаемых: $z=xy=x_а y_а+x_ц y_ц+x_а y_ц+y_а x_ц$. Первое слагаемое получается с помощью аналогового множит. устройства, второе — с помощью цифрового и последние два — с помощью цифро-аналоговых преобразователей (ЦАП). Такие К. в. м. по сравнению с *цифровыми дифференциальными анализаторами* при равной длине регистра и скорости итерации имеют значительно большую величину произведения точности на полосу пропускания.

Другой способ разделения исходной величины на цифровую и аналоговую основан на том, что собственно машинная величина дается амплитудой напряжения, а масштаб ее представления, выраженный как степень десяти,— в цифровой форме. В аналоговой части машины выполняются операции над аналоговыми величинами и одновременно в цифровой соответствующие операции над степенями масштабов. Напр., при перемножении двух величин x и y, представленных в машине в масштабах $M_y=y/u_y=10^a$; $M_x=x/u_x=10^b$, получаем $z=xy=10^{a+b}u_y u_x$ (u_x, u_y — машинные величины). Т. о., в аналоговой части машины происходит перемножение напряжений, а в цифровой — сложение чисел a и b. Аналогично при делении происходит деление напряжений в аналоговой форме и вычитание масштабов в цифровой форме. При суммировании отдельные слагаемые подвергаются нормализации (приведению к одному масштабу). Применение таких К. в. м. дает существ. расширение динамич. диапазона, однако для повышения точности и быстродействия требуется расширение полосы пропускания и увеличение точности аналоговых решающих элементов, что часто приводит к сложным технич. решениям.

К. в. м., в к-рых машинные переменные представляются двумя частями — аналоговой и цифровой, были разработаны в США рядом фирм и описаны в [3] и [4]. Значительно чаще машинные переменные в К. в. м. делятся на две группы, в одной из к-рых они представляются только в аналоговой, а в другой — только в цифровой форме. Цифровая часть в такой установке может быть ЦВМ общего назначения, цифровым дифференциальным анализатором, внешним устройством для ввода и вывода данных в цифровой форме. Аналоговая часть обычно является электронной АВМ. Кроме этого, К. в. м. содержит преобразователи для связи этих частей в процессе решения задачи, обеспечивающие двухсторонний обмен информацией между аналоговой и цифровой частями. При этом машинные переменные, поступающие из цифровой части, преобразуются с помощью ЦАП в электрич. сигналы или др. непрерывные величины. Машинные переменные, поступающие из аналоговой части, преобразуются с помощью аналого-цифровых преобразователей (АЦП) в цифровые коды. Необходимость при построении подобного рода К. в. м. возникает, в частности, при моделировании САР, содержащих в контуре регулирования ЦВМ. Другим примером служит моделирование с повышенной точностью динамич. систем, в к-рых можно произвести разделение дифференц. ур-ний на две группы. Из ур-ний 1-й группы получаются, как правило, переменные, не оказывающие существ. влияния на точность решения задачи в целом. В то же время они могут содержать колебат. составляющие сравнительно высокой частоты. Эти ур-ния удобно решаются в аналоговой части. Ур-ния, требующие точного решения, должны содержать величины с низкой частотой колебат. составляющих. Это позволяет решать дифференц. ур-ния на ЦВМ с достаточно большим шагом в натуральном или даже убыстренном темпе времени. Чаще всего цифровая часть К. в. м. строится на базе ЦВМ с программным управлением и развитой логикой (рис. 1). С помощью центр. устройства синхронизации (ЦУС) организуется работа отдельных частей машины в требуемой последовательности. Один из возможных вариантов временной диаграммы работы К. в. м. дан на рис. 2. Вычисление ведется в данном случае шагами длительностью T. Каждый шаг начинается с обмена информацией между аналоговой и цифровой частями машины, после чего вычисляются значения

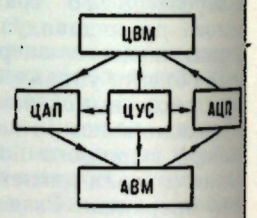


Рис. 1. Блок-схема аналого-цифровой вычислит. машины.

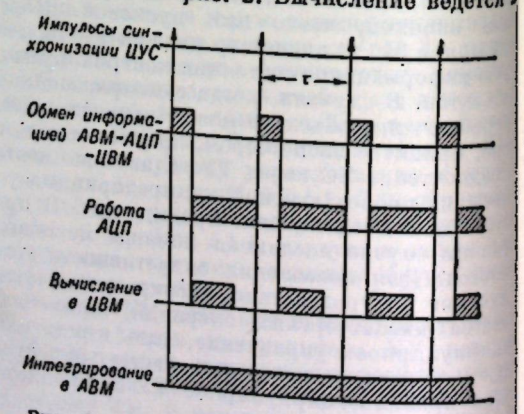


Рис. 2. Временная диаграмма работы аналого-цифровой вычислит. машины.

цифровых переменных. Вычисление аналоговых переменных осуществляется непрерывно. Благодаря этому АВМ может работать в натуральном темпе по времени и сопрягаться с реальной аппаратурой исследуемой системы (см. также *Аналоговая вычислительная машина, работающая в натуральном масштабе времени*).

Примером К. в. м. может служить моделирующее устройство, разработанное лабораторией CONVAIR (США), основу к-рого составляли универс. ЦВМ ИБМ-704, преобразователи формы представления машинных переменных ADDAVERTER (фирмы EPSCO) и АВМ PACE-231 (фирмы EAI). В подобной комбинированной вычислит. системе обмен информацией между АВМ и ЦВМ осуществлялся по 25 каналам: 10 переменных преобразовывалось из аналоговой формы в цифровую и 15 — из цифровой в аналоговую. Количество двоичных разрядов в устройствах преобразования составляло 13—17, а частота передачи информаций из АВМ в ЦВМ и наоборот достигала 4000 циклов в сек. Устройство использовалось для моделирования системы управления ракеты Атлас.

Лит.: 1) Клейн М. Л., Морган Г. С., Аронсон М. Г., Цифровая техника для вычислений и управления, пер. с англ., под ред. В. Б. Ушакова, М., 1960; 2) Lee R. C. and Cox F. B., A high-speed analog-digital computer for simulation, «IRE Trans. Electronic Comput.», 1959, v. EC—8, № 2; 3) Skramstad H., A combined analog-digital differential analyzer, в кн.: Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference, Dec. 1—3, 1959, Boston, Mass., N. Y., 1959; 4) Schmid H., Combined analog-digital computing elements, в кн.: Proceedings of the Eastern Joint Computer Conference, 1961; 5) Гитис Э. И., Преобразователи информации для электронных цифровых вычислительных устройств, М.— Л., 1961.

Г. М. Петров.

КОМБИНИРОВАННАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ЛАМПА (multiple electron tube; tube électronique multiple; Verbund-Elektronenröhre, Elektronenröhren-Verbundsystem) — электронная лампа с двумя или более системами, имеющими независимые потоки электронов — см. *Лампа электронная комбинированная*.

КОММУТАТОР, распределитель переключатель [option switch (switchboard); commutateur; Kommutator, Umschalter, Verteiler],— устройство, обеспечивающее выбор требуемой выходной цепи и соединение с нею входной цепи. Может иметь одну или неск. входных цепей. К. разделяются на ручные и автоматические.

Ручной К. состоит обычно из контактного поля и штепселей, связанных гибкими проводниками. К контактам поля (гнездам) присоединены отдельные электрич. цепи. Необходимые соединения осуществляются вводом штепселей в контактные гнезда. Существуют также ручные К. в виде набора контактных ключей и кнопок, каждая из к-рых соответствует отдельной входной (выходной) цепи. Включением входных (выходных) ключей или кнопок производится соединение входных (выходных) цепей через вспомогат. цепи, связывающие ключи или кнопки между собой.

Автоматич. К. бывает оформлен или в виде единой конструкции (искатель шаговый, коммутатор электронный) или в виде спец. схемы из отдельных коммутирующих элементов (электромагнитных или бесконтактных реле, ионных, электронных или ПП приборов и т. п.). Автоматич. К. после выбора требуемой цепи могут выполнять соединение ее с входной цепью либо посылать в нее сигналы от местного источника тока. Автоматич. К. в виде единой конструкции состоит из одного или нескольких неподвижных контактных полей, располож. вдоль линии (прямой или части дуги окружности) или на нек-рой поверхности (плоской или цилиндрической), и подвижной контактной системы, содержащей число контактов, равное числу контактных полей. В электромеханич. К. (см. *Искатель шаговой*) подвижные контакты в виде щеток приводятся в движение электромагнитами или электродвигателями. В электроннолучевых К. (см. *Коммутатор электронный*) подвижным контактом является электронный луч, отклоняемый управляющим магнитным или электрич. полем.

В зависимости от характера движения подвижной контактной системы различают К. с операционным, стартстопным и синхронным движением. В К. с операц. движением (привод от электродвигателя) подвижная контактная система передвигается (непрерывно или шагами) до соединения с требуемой цепью и остается в этом положении впредь до получения спец. возвратного сигнала или сигнала перехода к соединению со следующей требуемой цепью. В К. со стартстопным движением подвижная контактная система при поступлении пускового (стартового) импульса совершает передвижение по всему контактному полю и возвращается в исходное положение. В момент прохождения контакта, соединенного с требуемой электрич. цепью, извне подается управляющий импульс. В К. с синхронным движением подвижная контактная система движется непрерывно в течение всего рабочего времени. В электроннолучевых К. шаговый стартстопный и синхронный характер движения электронного луча достигается соответствующими законами изменения управляющего магнитного или электрич. поля. К., выполненные из отдельных коммутирующих элементов, обычно соединяются по схеме счета импульсов или по схеме сравнения (совпадения). По схеме счета импульсов получают К., аналогичные по ф-циям с К. с одним входом и с операционным, стартстопным и синхронным движением подвижных контактов; по схеме сравнения — К., аналогичные К. с неск. входами и операц. движением подвижной контактной системы.

К. являются одним из осн. элементов автоматич. устройств, в к-рых требуется выбор определенных электрич. цепей по программе, заданной в ф-ции времени или состояния др. электрич. цепей. Они входят составным элементом в устройства для передачи информации с временным уплотнением каналов в телемеханике и связи. С помощью К. решаются задачи программирования и управления в цифровой вычислит. технике. В системах телемеханики используются два К., располож. один на передающем, другой — на приемном пункте.

И. Е. Декабрун.

КОММУТАТОР ЭЛЕКТРОННОЛУЧЕВОЙ (cathode-ray switch; commutateur à rayons cathodiques; Elektronenstrahl-Kommutator) — электроннолучевой вакуумный прибор, у к-рого токи в выходных цепях, состоящих из одного или неск. выходных электродов (ламелей), изменяются с изменением положения луча. К. э. заменяют в схемах коммутации большое количество обычных *ламп*

приемно-усилительных, позволяют создавать новые схемы и применяются в схемах автоматики, телемеханики, импульсной техники и т. п. В первых К. э. использовался электронный луч круглого поперечного сечения, сформированный обычной системой аксиально-симметричных фокусирующих полей. Этот луч направлялся на требуемый участок выходной системы двумя взаимно-перпендикулярными отклоняющими системами. Конструкция выходной системы зависит от требований, предъявляемых к схеме работы прибора. Так, для простой коммутации выходных цепей был создан К. э. [2], у к-рого ламели расположены радиально в выходной части трубки. Для увеличения выходных токов используется эффект вторично-эмиссионного усиления. Более сложное устройство выходных электродов позволяет создать приборы, в к-рых наряду с коммутацией осуществляется фазо-импульсная модуляция и демодуляция (т. н. циклофон, циклодос) [10] и импульсно-кодовая модуляция (кодирующие трубки) [11]. Описаны также К. э. для пересчета электрич. импульсов [12], для амплитудного анализа и др. Существ. недостатки К. э. с лучом круглого сечения: малые выходные токи (единицы, в лучшем случае десятки *мка*); большие напряжения питания (порядка *кв*); значит. габариты.

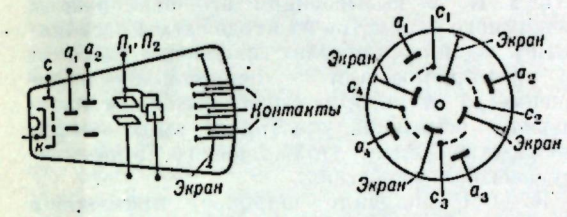
Эти недостатки существенно уменьшены у К. э. с лентообразным электронным лучом прямоугольного сечения [13]. Последние по системам формирования и управления лучом можно разделить на 2 группы: К. э. с лентообразным лучом, предварительно сфокусированным, а затем отклоняемым электростатич. полем, и К. э. с лентообразным лучом, формируемым и направляемым статическими электрич. и магнитным полями. К первой группе относятся квантующие и *кодирующие электроннолучевые трубки* [11]. Наша пром-сть выпускала К. э. типа ЛП-1 и ЛП-2 (КЛ-3). Оба прибора состоят из 12 независимых каналов (лампа с отклонением луча), расположенных симметрично по образующим цилиндра вокруг общего катода. Наряду с управлением посредством отклонения луча в каждом из каналов имеется сетка, модулирующая интенсивность луча. Выходные токи имеют порядок 0,5 *ма* на канал при общем токе в неск. десятков *ма* [3]. Приборы применяются для смешения сигналов в один канал и их последующего разнесения по каналам и т. п. Лентообразный отклоняемый луч используется и в универс. двоичном переключателе [4]. Прибор дает выходной сигнал на одном из четырех выходов в зависимости от комбинации сигналов на двух входах и может найти применение в схеме сумматора. Использование *вторичной эмиссии* дает возможность получать на выходе прибора сигнал, равный, или даже больший входного, что позволяет включать приборы друг за другом без к.-л. активных элементов схемы. Выходные токи составляют примерно 5 *ма*. К К. э. можно отнести и электронные контактные лампы [5], в которых для последоват. включения неск. контактов используется ленточообразный отклоняемый луч. Здесь контакт осуществляется между двумя электродами, облучаемыми электронами, из к-рых хотя бы один выполнен из материала со значит. коэфф. вторичной эмиссии; число контактов изменяется от 5 до 10, сопротивление составляет 5—10 *ком*, рабочие токи достигают 2 *ма*. Контактные лампы применяют для быстрого включения и переключения цепей, по к-рым может быть осуществлена передача сигнала. Лентообразный отклоняемый электронный луч используется и в счетных лампах типа ЕЛ [14], выпускаемых за рубежом. Ток луча в этих лампах составляет 1—2 *ма*, а скорость счета у серийных ламп 30 *кгц* (в схемах с спец. лампами она может быть доведена до 1—5 *Мгц*).

Вторая группа К. э. с лентообразным лучом в свою очередь подразделяется на: а) аксиально-симметричные коммутаторы с радиальным лучом, к-рый формируется с помощью вращающегося однородного электростатич. либо магнитного поля [6, 7, 8, 9] и обегает выходные электроды с изменением направления поля; из-за сложности создания вращающихся полей радиально-лучевые К. э. не нашли широкого применения; б) широко распространен большой класс К. э., т. н. *трохотронов*, в к-рых луч формируется во взаимно-перпендикулярных магнитном и электрич. полях, причем электроны луча движутся по трохоидальным траекториям. Сов. пром-стью выпускаются линейные десятиканальные трохотроны ЛП-4 и бинарный трохотрон ЛП-5. Большие преимущества дает также выпускаемый кольцевой трохотрон.

Лит.: 1) Муляров М. Я., Электронно-лучевые приборы, М.—Л., 1954; 2) Зернов Д. В., «АиТ», 1939, № 2, с. 27—44; 3) Миллер В. А., Быховская Е. В., «Тр. Ин-та автоматики и телемеханики», 1952, № 2, с. 115—16; 4) Елинсон М. И., Зернов Д. В., Харченко А. М., «РиЭ», 1959, т. 4, № 5; 5) Быховская Е. В. [и др.], там же, 1960, т. 5, № 5; 6) Елинсон М. И. и Бернашевский Г. А., «Тр. Ин-та автоматики и телемеханики», 1952, № 2, с. 35—51; 7) Skellett A. T., «Bell System Techn. J.», 1944, v. 23, № 2, p. 190; 8) его же, «Proc. I.R.E.», 1948, v. 36, № 11, p. 1354; 9) Skellett A. T., Charton P. W., «Tele-Tech.», 1950, v. 9, № 11; 10) Grieg D. D., Glauber J. J., Moskowitz S., «Proc. I.R.E.», 1947, v. 35, p. 1251—57; 11) Sears R. W., «Bell. System Techn. J.», 1948, v. 27, № 1, p. 44—57; 12) Hollway D. L., «Electronics», 1952, v. 25, № 5, p. 152—54; 13) Jonker J. L. H., «Philips Res. Repts», 1950, v. 5, № 1, p. 6—22; 14) его же, там же, 1952, v. 7, № 2, p. 81—111. *А. М. Харченко.*

КОММУТАТОР ЭЛЕКТРОННЫЙ (electronic switch; commutateur électronique; elektronischer Kommutator) — *коммутатор* в виде электровакуумного прибора (*коммутатор электроннолучевой; трохотрон* и т. п.) или в виде схемы, содержащей ионные и электронные лампы или ПП диоды и триоды. Достоинствами К. э. являются высокая скорость работы (до 1 млн. и более переключений в сек.), а для схемных К. э.— также и высокая надежность.

К. э. приборного типа показан на рис. 1. Электронный луч (рис. 1, *а*), образованный с помощью электронной пушки, состоящей из катода *к*, сетки *с* и двух анодов a_1 и a_2, отклоняется электрич. полем управляющих пластин $П_1$ и $П_2$ т. о., что попадает на требуемый контакт. Для устранения влияния вторичной эмиссии на соседние контакты каждый контакт окружен ловушкой. В другом К. э. (рис. 1, *б* — схема, *в* — общий вид) электронный луч от катода, расположенного по оси прибора, имеет вследствие действия форсирующего магнитного поля форму жесткой лопатки, обегающей своим концом анод, помещенный по окружности прибора. Каждый анод экранирован от соседних и имеет управляющую систему. В зависимости от потенциала на управляющей сетке анод может быть введен или выведен из управления. Существуют более сложные системы, напр. трохотрон. Недостатки К. э. приборного типа: сложность, высокая стоимость и малый срок службы.



а *б* *в*

Рис. 1.

В К. э. схемного типа ионные, электронные и ПП диоды и триоды включаются по схеме счета импульсов или по схеме сравнения (совпадения). На рис. 2 дана схема К. э. на тиратронах. При спокойном состоянии К. э. через последний тиратрон (T_4) проходит ток, вследствие чего на сопротивлении $4R_н$ возникает падение напряжения. Это падение напряжения приложено к сетке первого тиратрона T_1 и уменьшает величину отрицат. смещения на ней. Приходящий импульс достаточен лишь для срабатывания первого тиратрона; одновременно произойдет перезаряд конденсатора $1C_0$. Ток перезаряда будет иметь в тиратроне T_4 обратное направление и вызовет его погасание. Падение напряжения на сопротивлении $1R_н$ приведет к уменьшению отрицат. потенциала на сетке тиратрона T_2 и подготовит его к работе при приходе следующего импульса. Управляющие импульсы снимаются с точек *A* каждой из цепей.

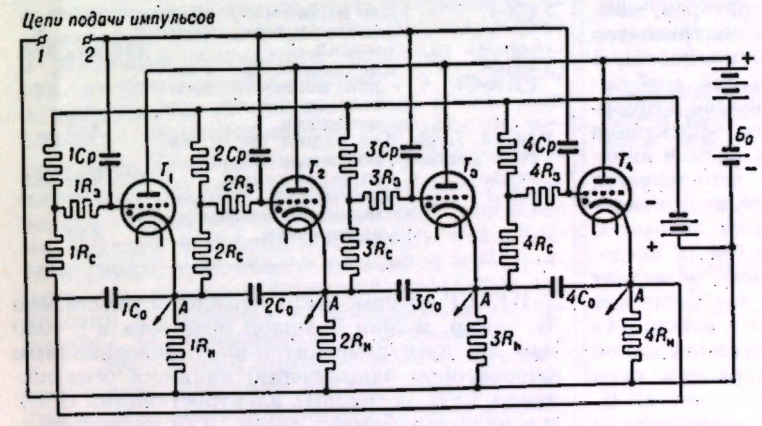


Рис. 2.

Одна из элементарных схем К. э. на диодах дана на рис. 3. Каждое сопротивление и два диода, подключенных к нему, представляют схему совпадения на два входа. Источник питания (пост. напряжение $+E$) соединяется с сопротивлениями *R*. Величина *R* выбрана значительно больше сопротивления диода в прямом направлении, но меньше сопротивления диода в обратном направлении. Точка соединения сопротивления *R* с диодами является выходом схемы совпадения и выходной шиной К. э. Высокий уровень напряжения $+E$ на выходной шине означает наличие сигнала на ней, низкий уровень $-E$ — отсутствие сигнала. Сигнал на выходе схемы совпадения может быть только при совпадении двух высоких уровней на ее входах, т. е. когда оба диода не проводят электрич. ток. Если хотя бы на один из диодов подается низкий уровень $-E$, напряжение на выходе падает до этого же уровня, т. к. сопротивление открытого диода мало по сравнению с *R* и падение напряжения на диоде практически близко к нулю. Схема имеет 4 выхода и два парафазных входа. Точки, куда подаются высокие уровни при наличии сигналов, обозначены *c*; точки, куда подаются высокие уровни при отсутствии сигналов $\bar{c}$; индекс у буквы *c* обозначает номер сигнала (и входа, соответственно). Так, напр., при наличии сигнала на входе *I* в точку c_1 подается высокий уровень $+E$, а в точку $\bar{c}_1$ — низкий уровень $-E$; при отсутствии сигнала уровни подаются наоборот — в точку $\bar{c}_1$ — высокий, а в точку c_1 — низкий. В табл. указаны четыре возможные комбинации входных сигналов. Сигнал обозначен 1, отсутствие сигнала 0. Каждой из четырех комбинаций входных сигналов соответствует сигнал на одной из выходных шин. На рис. 3 показан случай, когда на оба входа подаются сигналы, что соответствует комбинации № 4 в табл. Выходной сигнал будет на шине IV, т. к. только здесь совпадают два высоких уровня $+E$, на остальных же шинах имеется хотя бы один диод, к к-рому приложен уровень $-E$.

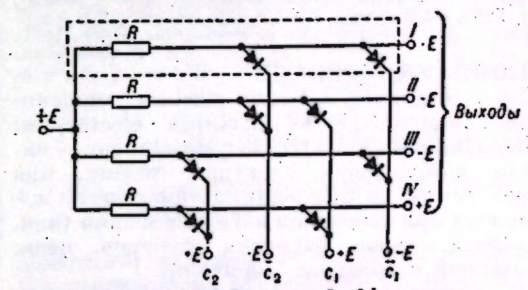


Рис 3.

По принципу, рассмотренному выше, может быть построен К. э. с количеством входных сигналов более двух; схемы совпадения на каждой выходной шине такого К. э. должны иметь столько же входов, сколько

№ п/п	Вход		Выход			
	I	*II*	*I*	*II*	*III*	*IV*
1	0	0	1	0	0	0
2	0	1	0	1	0	0
3	1	0	0	0	1	0
4	1	1	0	0	0	1

сигналов подается на К. э. Схемы совпадения с большим количеством входов трудно реализуются. К. э. на большое количество выходов (порядка сотен или тыс.) выполняется неск. ступенями. Между ступенями включаются усилит. элементы; схемы совпадения, используемые в различных ступенях, могут быть реализованы на различных элементах (напр., первая ступень — на ПП триодах, вторая — на ферритовых сердечниках). Специфика работы устройства, в состав к-рого входит К. э., может быть такова, что нек-рых из возможных комбинаций входных сигналов не бывает. Тогда в К. э. либо отсутствуют соответствующие схемы совпадения, либо они используются для обнаружения неисправностей в самом К. э. Сигналы на К. э. могут подаваться не только в виде уровней (потенциалов), но и импульсные либо импульсно-потенциальные.

Лит.: Ричардс Р. К., Арифметические операции на цифровых вычислительных машинах, пер. с англ., М., 1957; Уилкс М. В., Автоматические цифровые вычислительные машины, пер. с англ., Л., 1960; Михайловский В. Н. и Свенсон А. Н., Электронные коммутаторы, Киев, 1961.

А. Е. Розенкин.

КОМПАУНДИРОВАНИЕ электрических машин (electric machine compounding; compoundage des machines électriques; Compoundierung elektrischer Maschinen) — система возбуждения электрич. машин, при к-рой поток возбуждения автоматически изменяется при изменении нагрузки машин (или, в общем случае, нагрузки электрич. цепи, связанной с электрич. машиной).

К. машин пост. тока осуществляется наложением на их полюса, наряду с параллельной обмоткой, включенной параллельно цепи якоря, последовательной обмотки. Такая машина наз. компаундной или машиной смешанного возбуждения.

К. машин перем. тока применяется для синхронных машин (СМ) — генераторов, компенсаторов, двигателей — и рассматривается обычно как система (или часть комплексной системы) автоматич. регулирования возбуждения СМ. Автоматич. регулирование возбуждения (АРВ) выполняется более эффективно и с помощью более простой и надежной аппаратуры, если в системе АРВ используется К., т. к. оно значительно уменьшает отклонения напряжения при изменении нагрузки, повышает устойчивость работы СМ (а следовательно, и энергосистем в целом), облегчает пуск двигателей, соизмеримых по мощности с генераторами. Последнее весьма важно для автономно работающих электростанций малой и ср. мощности. Многочисл. варианты схем К. синхр. машин подразделяются на: а) К. прямое или косвенное — в зависимости от того, включен ли выход схемы К. непосредственно в цепь возбуждения СМ или через усилитель (при включении схемы К. в цепь возбуждения возбудителя или подвозбудителя они рассматриваются как электромашинные усилители); б) К. по току, напряжению или углу СМ и т. п.— в зависимости от того, какие режимные параметры, связанные с изменением нагрузки, действуют на входе схемы К. (в частности, имеются схемы К. по ср. току группы СМ, по току линии); в) одно-, двух- или трехфазное — в зависимости от того, реагирует ли К. на изменение режимных параметров в одной или неск. фазах цепи перем. тока; г) фазовое или нефазовое — в зависимости от того, является ли К. фазочувствительным, т. е. реагирующим на изменение фазного угла между векторами тока и напряжения цепи перем. тока; д) линейное или нелинейное — в зависимости от того, будет ли коэфф. пропорциональности между отклонением выпрямленного тока на выходе схемы К. и вызывающим его отклонением режимного параметра на входе схемы постоянным в заданных пределах изменения режима; е) управляемое или неуправляемое — в зависимости от того, осуществляется ли автоматич. изменение указанного выше коэфф. посредством спец. управляющего (корректирующего) воздействия.

К. СМ получило широкое применение благодаря большому значению автоматич. регулирования возбуждения, являющемуся одним из осн. средств повышения устойчивости параллельной работы СМ.

Для СМ небольшой мощности (до 1—2 *Мвт*) широко применяется прямое фазовое К. (как управляемое, так и неуправляемое) с полной заменой машинного возбудителя ПП выпрямителями — т. н. самовозбуждение СМ. Управляемое К. осуществляется для установок, где требуется поддерживать постоянство напряжения СМ с точностью, превышающей ±3—5%. Управление ведется т. н. корректором напряжения. Для СМ небольшой мощности с машинными возбудителями в СССР выпускают автоматич. регуляторы возбуждения по схеме фазового К., управляемого электромагнитно-полупроводниковым корректором напряжения (табл.).

Тип регулятора	Назначение	Макс. длительная мощность на выходе (*em*)
УБК-1	Для машин малой мощности низкого напряжения	160 или 320
УБК-У и РНА-60	Для машин ср. и малой мощности высокого и низкого напряжения	400
УБК-М (морское исполнение)	Для машин ср. и малой мощности низкого напряжения . . .	120 или 360
УБК-3	Для машин большой мощности высокого напряжения	630

В СССР впервые было успешно осуществлено К. синхр. машин большой мощности и с 1950 оно (с электромагнитно-полупроводниковым корректором напряжения) является осн. системой АРВ на мощных электростанциях СССР и в ряде зарубежных стран. Для электростанций, работающих через сверхдальние электропередачи (Волжские ГЭС им. В. И. Ленина и им. XXII съезда КПСС), разработаны автоматич. регуляторы возбуждения «сильного действия» электронно-ионного типа, повышающие устойчивость электропередач. Эти устройства также регулируют по отклонению тока СМ и корректируют напряжение, а дополнит. повышение устойчивости и качества регулирования обеспечивается в основном регулированием по производным отклонения тока и напряжения.

В СССР автоматич. регуляторы возбуждения для СМ большой мощности по системе К. с электромагнитно-полупроводниковым корректором напряжения выпускаются двух осн.

структурных схем: 1) неуправляемое К. по току статора, к-рое так же, как и корректор, воздействует на возбуждение возбудителя (тип ЭПА); 2) управляемое фазовое К., воздействующее на возбуждение возбудителя; корректор действует на подмагничивание тр-ра в цепи К. (тип УБК-3, см. табл.). Автоматич. регулятор возбуждения по второй схеме обладает рядом преимуществ: увеличенная форсировочная способность, повышенное быстродействие, меньшее потребление от тр-ров, напряжения, меньшие габариты и вес.

В общей теории автоматич. регулирования К. относится к системам регулирования по возмущающему действию нагрузки, к-рые могут сочетаться с регулированием по отклонению стабилизируемого параметра (комбиниров. системы).

Лит.: Иносов В. Л. и Цукерник Л. В., Компаундирование и электромагнитный корректор напряжения синхронных генераторов, М.—Л.,1954; Цукерник Л. В., Костюк О. М. и Рыбинский В. Е., Управляемое фазовое компаундирование синхронных машин с коррекцией по напряжению, «Э-во», 1958, № 2; Юдицкий С. Б., Синхронные машины с полупроводниковыми выпрямителями, 2 изд., М.— Л., 1954; Иносов В. Л., Крутикова В. Е., Каменева В. А., Синхронные двигатели с возбуждением от полупроводниковых выпрямителей, Киев, 1960; Капланский А. Е., Работы М. О. Доливо-Добровольского по созданию электроизмерительной техники переменного тока, «Э-во», 1952, № 1.

Л. В. Цукерник.

КОМПЕНСАТОР ПЕРЕМЕННОГО ТОКА автоматический, потенциометр автоматический [automatic A. C. (alternating current) compensator; compensateur automatique à courant alternatif; selbsttätiger Wechselstrom-Kompensator] — прибор для измерения комплексных значений эдс или напряжения компенсац. методом, в к-ром уравновешивание (компенсация) происходит автоматически. С помощью К.п.т. можно также измерять комплексные значения токов и сопротивлений (по падению напряжения на образцовом или измеряемом сопротивлении) и различные неэлектрич. величины (используя датчики, преобразующие эти величины в комплексные напряжения или токи). Для полного уравновешивания измеряемого напряжения $\dot{U}_x = U_x e^{j\varphi_x}$ компенсирующим напряжением $\dot{U}_k = U_k e^{j\varphi_k}$ необходимо обеспечить равенство частот обоих напряжений, равенство их модулей и противоположность фаз. Частоты равны, т. к. объект измерения и К. п. т. питаются от одного источника; остальные два условия достигаются с помощью систем автоматич. уравновешивания, изменяющих U_k и φ_k. Эти системы строятся по типу астатич. или статич. следящих систем, либо по типу систем динамич. компенсации. По виду результата измерения К.п.т. делятся на прямоугольно-координатные, измеряющие ортогон. составляющие комплексного напряжения, и полярно-координатные, измеряющие его модуль и фазу. Обычно эти группы К.п.т. различаются и способом уравновешивания измеряемого напряжения.

В прямоугольно-координатном К. п. т. (рис. 1) измеряемое напряжение $\dot{U}_x$ уравновешивается двумя компенсирующими напряжениями U_{k_1} и U_{k_2}, сдвинутыми по фазе на 90°. Усиленное напряжение рассогласования $\Delta U = \dot{U}_x - \dot{U}_k$ поступает на фазочувствит. индикаторы (усилители), к-рые формируют сигналы управления двигателями, регулирующими посредством потенциометрич. делителей величины U_{k_1} и U_{k_2}. Отсчет измеренных значений производится по положению движков делителей. В качестве фазочувствит. индикаторов применяются различные схемы синхронных детекторов, а иногда 2-фазные асинхронные

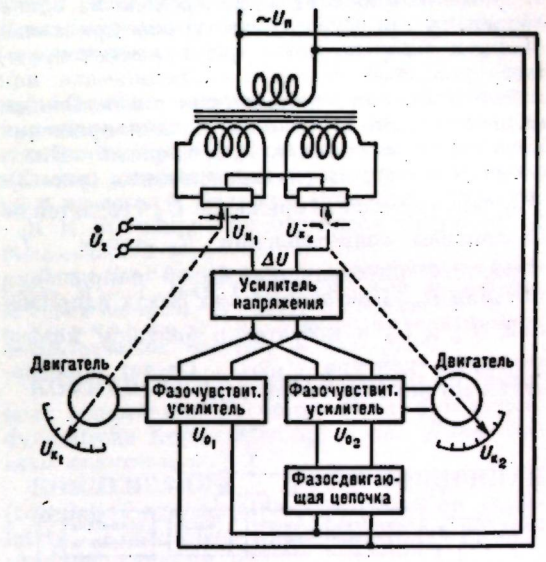


Рис. 1. Блок-схема автоматич. прямоугольно-координатного компенсатора.

двигатели, являющиеся исполнит. органами. Компенсирующие напряжения U_{k_1} и U_{k_2} могут быть созданы ферродинамометрами или индукц. преобразователями, выполняющими одновременно ф-ции индикаторов, исполнит. и компенсирующих элементов. Фазы опорных напряжений U_{Φ_1} и U_{Φ_2} фазочувствит. индикаторов выбирают так, чтобы выходные сигналы индикаторов были пропорциональны проекциям ΔU на направления $\dot{U}_{k_1}$ и $\dot{U}_{k_2}$.

В полярно-координатном К.п.т. (рис. 2) измеряемое напряжение $\dot{U}_x$ уравновешивается одним компенсирующим напряжением, величина к-рого регулируется потенциометрич.

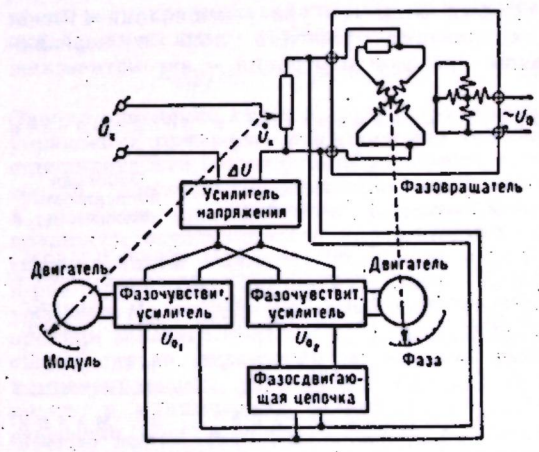


Рис. 2. Блок-схема автоматич. полярно-координатного компенсатора.

делителем, а фаза — фазовращателем (напр., синусно-косинусным потенциометром или вращающимся тр-ром). Возможны различные варианты выбора фаз опорных напряжений фазочувствит. индикаторов, существенно

влияющие на сходимость процесса автоматич. уравновешивания. При жесткой связи фаз опорных напряжений с напряжением питания компенсатора в нек рых областях диапазона измерения сходимость нарушается; во избежание этого скачкообразно изменяют фазы опорных напряжений при переходе из одной области в др. Сходимость лучше при связи опорных напряжений с фазой компенсирующего напряжения.

Для измерения напряжений с неизменным фазовым сдвигом относительно напряжения питания применяются упрощенные К.п.т. с одним контуром уравновешивания (рис. 3). Компенсирующее напряжение $\dot{U}_k$ создается на образцовом сопротивлении R_k током $\dot{I}_k$. Фаза $\dot{U}_k$ определяется фазой напряжения питания $\dot{U}_п$. При одинаковых фазах напряжений $\dot{U}_x$ и $\dot{U}_k$ и достаточно большом коэфф. усиления контура $\dot{U}_k \cong \dot{U}_x$. Отсчет производится по величине тока I_k.

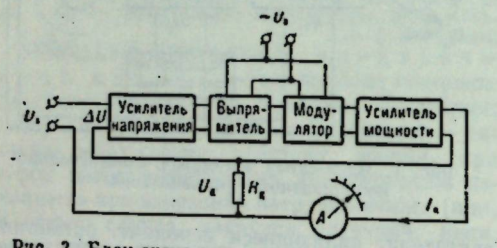


Рис. 3. Блок-схема автоматич. компенсатора для измерения напряжения с неизменной фазой.

К.п.т. строятся и как универс. приборы для измерения комплексных напряжений, токов и сопротивлений и как специализиров. приборы, напр. для геофизич. измерений, контроля изоляции высоковольтной аппаратуры, контроля параметров конденсаторов, измерит. тр-ров, для работы в счетно-решающих устройствах в качестве векторметров, для снятия амплитудно-фазовых хар-к и др. Пример универс. К.п.т.— многопредельный полярно-координатный К.п.т. Р-71 для измерений на частоте 50 *гц*.

Время автоматич. уравновешивания < 10 сек. Стабилизация рабочего тока и переключение пределов измерения — автоматические.

Пределы измерения и погрешности компенсатора Р-71

Измеряемая величина	Пределы измерения		Основная погрешность измерения	
	модуль	фаза	модуль %	фаза
Напряжение (*мв*)	100; 1000	360°	1	1°30′
Ток (*ма*)	1; 10; 100	360°	1	1°30′
Сопротивление (*ом*)	10; 100; 1000	360°	1,5	1°30′

Лит.: Куликовский Л. Ф., Мелик-Шахназаров А. М., Компенсаторы переменного тока, М.— Л., 1960.

В. Ю. Киеллер.

КОМПЕНСАТОР ПОСТОЯННОГО ТОКА АВТОМАТИЧЕСКИЙ [automatic D. C. (direct current) compensator; compensateur automatique à courant continu; automatischer Gleichstrom-Kompensator] — электроизмерит. прибор для автоматич. измерения компенсац. методом малых напряжений постоянного тока. Измеряемое напряжение u_x (рис. 1) непрерывно сравнивается с известным для каждого положения движка потенциометра π напряжением обратной связи u_{oc}. Напряжение ошибки $e = u_x - u_{oc}$ усиливается усилителем

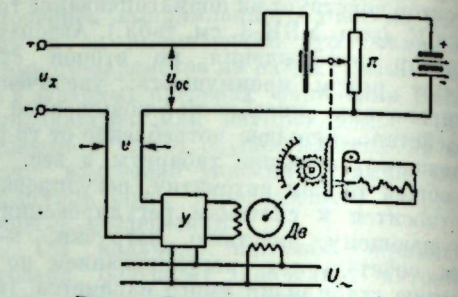


Рис. 1. Схема компенсатора.

У и вызывает вращение ротора исполнит. двигателя *Дв*. Последний перемещает движок потенциометра π до такого положения, при котором $u_{oc} = u_x$. При этом $e = 0$, напряжение на выходе усилителя отсутствует и ротор двигателя неподвижен. Движок потенциометра связан со стрелкой указателя величины измеряемого напряжения. Наряду с показывающими широко используются регистрирующие К.п.т. с записью на дисковой или ленточной диаграмме (в полярных или прямоугольных координатах). Регистрация с записью на ленточной диаграмме бывает непрерывной и прерывистой. Непрерывно регистрирующие К.п.т. записывают на одной ленте не более 2 перем. величин, К.п.т. с прерывистой регистрацией — до 24 переменных. В К.п.т. часто встраиваются электрич. или пневматич. регуляторы, устройства дистанц. передачи результатов измерений; а также сигнализаторы прохождения измеряемой переменной через к.-л. значения.

В пром. моделях К. п. т. ширина калибров. части диаграммной бумаги 75—280 *мм* (рис. 2), длина — до 30 *м* и скорость продвижения от 20 *мм/час* до 360 *м/час*, основная погрешность измерения ±0,25% и более от диапазона измерения, наименьшие диапазоны измерения до 0—1 *мв*, время прохода указателем всей шкалы 0,25—8 сек. К. п. т. изготовляются для работы от сети перем. тока частотой 50 и 400 *гц*. К. п. т., первоначально разработанные для измерения эдс термопар, нашли широкое применение для измерения многих неэлектрич. величин: перемещений, давлений, концентрации водородных ионов и др., преобразуемых соответствующими датчиками в эдс пост. тока. Основное преимущество К. п. т. по сравнению с др. типами измерителей пост. напряжений состоит в отсутствии потребления

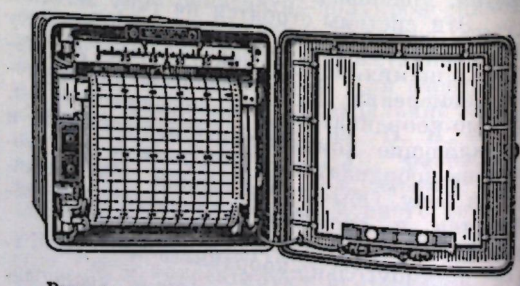


Рис. 2. Автоматич. компенсатор пост. тока с записью в прямоугольных координатах и шириной диаграммы 275 *мм*.

тока, благодаря чему практически исключается влияние сопротивления линии связи на точность измерения.

В. В. Русаков.

КОМПЕНСАТОР ЭЛЕКТРОННЫЙ (electronic compensator; compensateur électronique; elektronischer Kompensator) — прибор для контроля различных величин (темп-ры, давления, напряжения и т. д.), основанный на компенсац. методе измерения и состоящий из измерит. схемы, электронного усилителя перем. тока и балансировочного реверсивного двигателя с редуктором. В измерит. схеме измеряемая величина преобразуется в напряжение перем. или пост. тока и сравнивается с частью образцового напряжения, снимаемого с компенсац. элемента (реохорда или индуктивного датчика), подвижная часть к-рого (движок или плунжер) перемещается реверсивным двигателем. Электронный усилитель увеличивает напряжение вне баланса, подаваемое с измерит. схемы, до величины, необходимой для работы реверсивного двигателя, включенного на его выход. В случае, когда сигнал поступает с измерит. схемы пост. тока, на входе усилителя устанавливают преобразователь пост. напряжения в переменное (см. *Модулятор*). В качестве балансировочных двигателей в К. э. отечеств. произ-ва применяют двухфазные асинхронные двигатели типа РД-09, Д-32, 2АСМ-50. Двигатель вращается до тех пор, пока напряжение небаланса не будет равно нулю. В состоянии покоя каждому значению измеряемой величины соответствует определенное положение подвижной части прибора. В самопишущих К. э. с подвижной частью прибора связано перо, записывающее значение измеряемой величины на дисковой или ленточной диаграмме. Иногда в К. э. встраивают регулирующие устройства.

К. э. классифицируются: по роду питания (*компенсатор переменного тока, компенсатор постоянного тока*), по количеству измеряемых величин (одноточечные или многоточечные), по выполняемым ф-циям (показывающие, регистрирующие или регулирующие), по представлению измеряемой величины (с аналоговым или цифровым выходом), по устройству регистрации (приборы с дисковой или ленточной диаграммами), по принципу построения измерит. схемы (мосты, потенциометры), по элементу, обеспечивающему регулирование (регулирующий реохорд, группа контактов, пневматически регулирующее устройство), и т. д.

Основные показатели К. э.— быстродействие (время прохождения стрелкой шкалы прибора) и статич. точность. В СССР выпускаются высококачеств. К. э. с временем прохождения менее 1 сек. класса 0,2.

Лит.: Котровский М. М., Костогрызов В. С., Автоматическое регулирование тепловых процессов металлургического производства, М., 1952.

О. М. Минина.

КОМПЕНСАЦИОННЫЙ МЕТОД (нулевой) (null method; méthode de zéro; Null-Kompensationsmethode)—метод измерения различных величин, основанный на сопоставлении измеряемой величины с другой, известной величиной (образцовой мерой), при к-ром совокупное их действие на нулевой орган взаимно уравновешивается (становится равным нулю). Уравновешивание воздействий может достигаться вручную или автоматически (см. *Компенсатор электронный*). Примером использования К. м. на практике служит взвешивание тел на коромысловых весах. Достижение равновесия определяется по нулевому положению указателя прибора. В нек-рых случаях это нулевое положение может соответствовать, напр., исчезновению пятна в фотометре или нити накала измерит. лампы при определении силы света нек-рого источника и т. п. К.м. обеспечивает высокую точность измерения (в электрич. схемах — порядка 0,01% и выше, при взвешивании — порядка 0,001% и выше). Особенно высокая точность достигается при измерениях К. м. в цепях пост. тока, где в качестве образцовой меры применяются нормальные элементы, эдс к-рых строго постоянна и известна с большой степенью точности.

К К. м. измерений относится также метод *динамической компенсации*.

Лит.: Касаткин А. С., Электрические измерения, М.— Л., 1946; Темников Ф. Е., Автоматический контроль, М., 1949; Темников Ф. Е. и Харченко Р. Р., Электрические измерения неэлектрических величин, М.— Л., 1948.

Е. С. Кочетков.

КОМПЕНСАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ (dynamic compensation; compensation dynamique; dynamische Kompensierung) — см. *Динамическая компенсация*.

КОМПЕНСАЦИЯ КОРРЕЛЯЦИОННАЯ (correlative compensation; compensation correlative; Korrelations-Kompensation) — нейтрализация влияния возмущающих воздействий в системе на регулируемую величину, характеризуемая статистич. оценкой типа корреляц. ф-ции. К. к. является одним из видов *компенсации статистической*. На рис. дана типовая схема системы управления по возмущению. Контролируемое возмущение

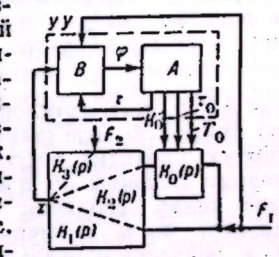


Схема системы управления по возмущению.

F_1 поступает на вход линейного объекта управления с передаточной ф-цией $K_1(p)$ и через компенсирующее устройство $K_0(p)$ на второй вход с передаточной ф-цией $K_2(p)$. В случае, если выполняются условия независимости регулируемой величины x от возмущения F_1, имеет место равенство:

$$K_0(p) = -K_1(p)/K_2(p). \qquad (1)$$

Однако изменение хар-к $K_1(p)$ и $K_2(p)$ объекта управления приводит к нарушению условий инвариантности регулируемой величины, т. е. $x(t) \not\equiv 0$. Автоматич. коррекция параметров $K_0(p)$, вновь приводящая к выполнению условия (1), осуществляется управляющим оптимизирующим вычислит. устройством (УУ), к-рое производит автоматич. поиск коэфф. усиления K_0, постоянных времени T_0, величин времени запаздывания τ и τ_0, а также в более общем случае параметров нелинейной части компенсирующего устройства. Все это приводит к минимизации величины выбранной статистич. оценки φ, к-рая при К. к. определяется выражением:

$$\varphi = \psi\{M_T[\Phi\{x(t)\}\ \gamma\{F_1(t+\tau)\}]\} = \min, \qquad (2)$$

где M_T — обозначение математич. ожидания, ψ, Φ, γ — нек-рые нелинейные или логич. преобразования ф-ций, T — интервал времени усреднения. Указанный критерий, определяемый ф-лой (2), является ф-цией от взаимной

корреляц. зависимости контролируемых возмущений F_1 и выходной регулируемой величиной x системы. К. к. целесообразна в тех случаях, когда нельзя пренебречь воздействием дополнит. неконтролируемых возмущений F_2, вызывающих изменения регулируемой величины x. К. к. обеспечивает коррекцию параметров компенсирующего вычислит. устройства $K_0(p)$ только по контролируемому возмущению F_1, уменьшая «рысканье» системы вокруг требуемых параметров компенсирующего устройства, связанное с влиянием неконтролируемых возмущений F_2 [2]. Ф-ция φ может быть линейной, а Φ и γ — преобразованиями вида сигнатуры (т. е. знака соответствующих переменных), что позволяет упростить операцию умножения, сводя ее к т. наз. «логическому умножению» [3]. Оптимизирующее вычислит. устройство корреляц. типа применяется, напр., для автоматич. коррекции коэфф. усиления *компенсирующего устройства* в системе компенсации колебаний толщины подката на непрерывном стане холодной прокатки металла [4]. Приведенное на рис. 2 в ст. Компенсирующее устройство оптимизирующее вычислит. устройство $ВУ_2$ служит для непрерывной автоматич. коррекции коэфф. усиления $ВУ_1$ в соответствии с корреляц. зависимостью вида

$$\varphi=\int_0^t \Delta H(t-\tau)\,\Delta h(t)\,dt, \qquad (3)$$

где $\Delta H(t)$, $\Delta h(t)$—отклонения толщины полосы на входе и выходе стана; τ — время, за к-рое полоса проходит расстояние между измерителями толщины M_1 и M_2. Автоматич. изменение коэфф. усиления $ВУ_1$ заканчивается в случае, когда величина $\Delta H(t-\tau)\Delta h(t)\equiv 0$, т. е. значение φ будет неизменным и соответствующим требуемому коэфф. усиления. Знак произведения определяет требуемое направление необходимого изменения φ и, следовательно, коэфф. усиления.

Лит.: 1) Chelustkin A. B., The design and application of correlation control, «Automatic Control», 1958, May; 2) Челюсткин А.Б., Иванов В. А., Самонастраивающаяся система автоматического управления режимом сварки электротрубосварочных станов, «Э-во», 1960, № 2; 3) Цюй-Шоу-дэ, Автоматическое регулирование толщины холоднокатаной полосы по колебаниям толщины подката, «АиТ», 1961, т. 22, № 8; 4) Догановский С. А., Фельдбаум А. А., Исследование при помощи электронной модели компенсации колебаний толщины подката на прокатном стане, «АиТ», 1959, т. 20, № 2.

С. А. Догановский.

КОМПЕНСАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ

(statistical compensation; compensation statistique; statistische Kompensation) — нейтрализация влияния возмущающих воздействий на регулируемую величину, характеризуемая заданными статистич. оценками. Целый ряд объектов и систем автоматич. управления можно описать и исследовать лишь статистич. методами. Задача построения оптимальной в статистич. смысле линейной системы, обеспечивающей наименьшую среднеквадратичную погрешность, если заданы спектральные плотности стационарных случайных возмущений, действующих на систему, рассмотрена в ряде работ [1, 2].

Однако при изменении статистич. свойств возмущений система, оптимальная в статистич. смысле, перестает быть оптимальной, а ее среднеквадратичная погрешность возрастает. Возникает задача автоматич. коррекции параметров системы на основе измерения (прямыми или косв. средствами) статистич. свойств возмущений, действующих на систему, или др. контролируемых переменных систем, с тем, чтобы вновь получить наименьшее значение ее среднеквадратичной погрешности. На рис. 1 дана схема, предложенная Е. Г. К

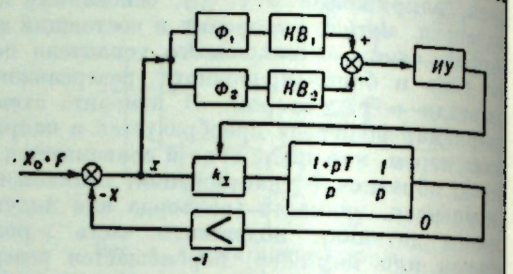


Рис. 1. Система статистич. компенсации с косвенной оценкой статистич. свойств входных воздействий (по Берту): *О*— объект автоматич. управления.

Бертом [3], в к-рой статистич. свойства возмущений в системе измеряются косв. методами. Входной сигнал системы автоматич. управления состоит из полезного задающего воздействия X_0 и неотделимой и независимой от него помехи F. Регулируемая величина x оптим. системы должна наиболее точно соответствовать величине задающего воздействия X_0. Среднеквадратичное значение погрешности x будет при этом стремиться к минимуму; существование к-рого следует из простых физич. рассуждений. Пусть спектральная плотность помехи — пост. величина $S_F(\omega)=a^4$, что характеризуется равномерным распределением мощности помехи по частотному спектру ω до весьма высоких частот (т. н. «белый шум»). Спектральная плотность задающего воздействия обычно падает с ростом частоты, напр. $S_{X_0}(\omega)=A^2/\omega^2$, где A — пост. величина. Система автоматич. управления, приведенная на рис. 1, в целом может рассматриваться как НЧ фильтр, ширина полосы пропускания к-рого определяется выбранными значениями параметров системы. Чем меньше ширина полосы пропускания, тем меньше помеха F на выходе системы, причем одновременно ухудшаются условия воспроизведения полезного сигнала X_0. Чрезмерное расширение полосы пропускания приводит к противоположному эффекту: улучшаются условия воспроизведения полезного сигнала X_0, но влияние помехи соответственно возрастает. Минимум среднеквадратичной погрешности получается при ширине полосы, удовлетворяющей нек-рым компромиссным «промежуточным» условиям. Можно далее показать, что переходная функция данной замкнутой системы совпадает с оптим. передаточной ф-цией линейной системы, определяемой по ф-ле Винера для заданных выше значений спектральных плотностей $S_F(\omega)$ и $S_{X_0}(\omega)$ в случае, если коэфф. усиления $k_x=A/a$. Изменение значений A и a спектральных плотностей входного воздействия приводит к необходимости соответствующей коррекции величины k_x, чтобы вновь удовлетворялось приведенное выше равенство. Наиболее затруднительно прямое измерение величин указанных коэфф. спектральных плотностей входного воздействия. Поэтому Берт использовал косв. метод, вытекающий из выражения для спектральной плотности

ошибки рассогласования системы $S_x(\omega)=a^2\frac{\omega^4+(A/a)^2}{\omega^4+k_x^2}=a^2\left[1+\frac{(A/a)^2-k_x^2}{\omega^4+k_x^2}\right]$. В оптим. системе для $k_x=A/a$ спектральная плотность ошибки рассогласования $S_x(\omega)=a^2$ и не зависит от ω. При $k_x>A/a$ $S_x(\omega)$ растет с ростом частоты, а при $k_x<A/a$ убывает с ростом ω. Поэтому, если значение $S_x(\omega_2)>S_x(\omega_1)$, где $\omega_2>\omega_1$, то необходимо уменьшать значение k_x. Наоборот, если $S_x(\omega_2)<S_x(\omega_1)$, исходное значение k_x необходимо увеличить. В случае, когда $S_x(\omega_2)=S_x(\omega_1)$, спектральная плотность постоянна и соответствует спектральной плотности оптим. системы, а значение k_x — требуемому.

Берт применяет УУ автоматич. коррекции коэфф. k_x, состоящее из полосовых фильтров Φ_1 и Φ_2, настроенных на разные частоты ω_1 и ω_2, квадраторов KB_1 и KB_2, $НЧ$ фильтра и исполнит. (интегрирующего) устройства (ИУ). В случае применения электромеханич. схемы ИУ коэфф. k_x изменяется перемещением движка потенциометра, вращаемого серводвигателем системы ИУ. Напряжение и скорость вращения последнего определяются знаком и величиной разности напряжений на выходах обоих квадраторов. Если, напр., напряжение на выходе KB_1 больше напряжения на выходе KB_2, то их разность положительна и серводвигатель увеличивает k_x, и наоборот. Равенство выходных напряжений квадраторов означает, что в системе установлено необходимое значение коэфф. усиления k_x, обеспечивающее К. с. изменения спектральных плотностей $S_F(\omega)$ и $S_{x_t}(\omega)$ ее входного воздействия.

УУ, разработанное Бертом, нашло применение в системе компенсации по Марксу [4], к-рая заключается в автоматич. коррекции параметров и хар-к УУ с целью сохранения динамич. свойств всей системы неизменными

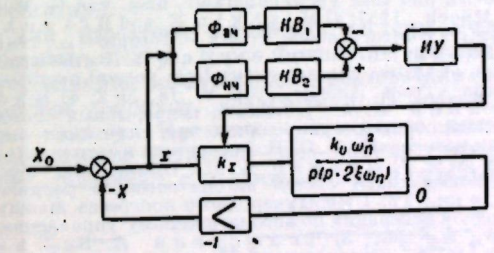


Рис. 2. Система компенсации изменений динамич. свойств объекта (по Марксу).

при изменении динамич. свойств объекта. Подобная задача возникает, напр., при автоматизации атомных реакторов, высотных скоростных самолетов или ракет, обладающих весьма широким диапазоном изменения динамич. свойств. В целом ряде практич. приложений достаточной для поддержания неизменными динамич. свойств всей системы оказалась автоматич. коррекция коэфф. усиления разомкнутой части системы. Метод рассмотрен Марксом на примере системы 2-го порядка (рис. 2) для входных возмущений X_0 типа единичного скачка. Передаточная ф-ция замкнутой системы изменяется при изменении коэфф. усиления k_v объекта. Задача системы управления состоит в автоматич. коррекции коэфф. k_x с тем, чтобы выполнялось равенство $k_xk_v=1$. В этом случае передаточная ф-ция замкнутой системы и ее динамич. свойства сохраняются неизменными. В качестве УУ подобной системы Маркс применяет схему, аналогичную схеме, предложенной Бертом (рис. 1), причем здесь Φ_1 является ВЧ фильтром ($\Phi_{вч}$), а Φ_2— НЧ фильтром ($\Phi_{нч}$) с частотой среза ω_n. Построение частотных хар-к для системы рис. 2 показывает, что при $k_xk_v=1$ имеется пиковое значение $k_{max}(\omega_n)$. На частоте ω_n при $k_xk_v<1$ это значение уменьшается по величине и смещается в область частот, меньших ω_n. При $k_xk_v>1$ имеет место обратная картина: пиковое значение увеличивается и соответствует более высокой частоте, чем ω_n. Поэтому при $k_xk_v<1$ выходной сигнал НЧ фильтра превышает выходной сигнал ВЧ фильтра, что приводит к увеличению k_x. Наоборот, при $k_xk_v>1$ выходной сигнал ВЧ фильтра превышает сигнал НЧ фильтра, обусловливая уменьшение k_x. При $k_xk_v=1$ выходные сигналы обоих фильтров малы по величине и, следовательно, ИУ не производит коррекцию k_x системы.

В описываемых ниже системах [4] определение их динамич. свойств производится с помощью дополнит. пробных сигналов, задаваемых на вход системы. В системе Осдера — это пробный импульс, причем спец. вычислит. устройство подсчитывает число колебаний импульсной переходной хар-ки системы и вырабатывает соответствующие сигналы коррекции ее коэфф. усиления. В системах Андерсена, Бюланда, Купера импульсная переходная хар-ка определяется заданием на вход пробного сигнала с генератора случайных сигналов и получением известными методами [5] взаимнокорреляц. ф-ции входа системы. Спец. устройство сравнивает получающиеся хар-ки с заданной и вырабатывает сигналы коррекции коэфф. усиления системы. В этой системе сравниваются не сами хар-ки непосредственно, но нек-рые обобщ. величины (напр., интегральные оценки, определяемые разностью положит. и отрицат. площадей, ограничиваемых кривой импульсной переходной хар-ки). Особенность рассматриваемой системы — применение спец. генератора случайных сигналов (см. *Датчик случайных чисел*), выдающего случайную периодич. последовательность импульсов неизменной амплитуды X_0, корреляц. ф-ция $R(\tau)$ к-рой представляет собой треугольник с $R(0)=X_0^2$ и $R(\tau_1)=0$. Благодаря этому взаимная корреляц. ф-ция получается на интервале τ_1, не превышающем период генератора случайных сигналов, что ускоряет процесс определения импульсной хар-ки системы.

Указанная выше задача может быть решена без непосредств. измерения параметров и хар-к системы (метод Уитейкера) [4], причем автоматич. коррекция параметров системы заканчивается в случае удовлетворения выбранному заранее критерию (напр., минимизации среднеквадратичной или интегральной оценки погрешности системы). Задача (рис. 3,*а*) заключается в автоматич. коррекции коэфф. усиления k_x и β_x до тех пор, пока передаточная ф-ция объекта O не станет идентичной передаточной ф-ции модели M, т. е., если $k_xk_v=1$ и $\beta_x\beta_v=1$. Пусть на вход системы поступает сигнал вида рис. 3,*б*. В момент t_0 ключи K_2 и K_3 замыкаются в положение *а* на время соответственно θ_1 и θ_2, а затем воз-

вращаются в положение b. Выходные величины $ИУ_1$ и $ИУ_2$ определяются выражениями $\int_0^{\theta_1} |e(t)|dt$ и $\int_0^{\theta_2} |e(t)|dt$, где $|e(t)|$ — модуль погрешности системы. Ключи K_2 и K_3 работают указанным выше образом всякий раз, когда изменяется уровень входного сигнала. Ключ K_1 и инвертор (-1) необходимы для образования модуля значения погрешности системы $e(t)$. Это нужно, чтобы направление изменения коэфф. k_x и β_x не зависело от знака входного сигнала. Выходные величины ИУ изменяют соответственно значению коэфф. усиления до тех пор, пока не удовлетворяется выбранный критерий ошибки:

$$\int_{t_n}^{\theta_1+t_n} |e(t)|dt \equiv 0 \quad \text{и} \quad \int_{t_n}^{\theta_2+t_n} |e(t)|dt \equiv 0.$$

Хар-ки объекта O и модели M совпадают до тех пор, пока величины k_v и β_v объекта не изменятся. В этом случае описанные выше операции повторяются до момента, пока вновь не будут удовлетворены заданные критерии ошибки. Решение указанной выше задачи при случайных входных сигналах и по

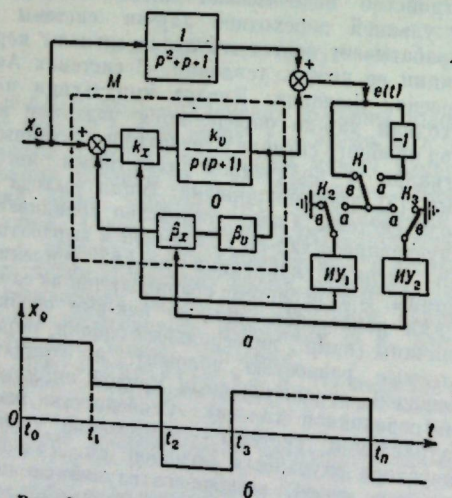


Рис. 3, *а* — Система компенсации изменений динамич. свойств объекта (по Уитейкеру); M — модель, определяющая необходимую (эталонную) хар-ку объекта; *б* — вид входного воздействия на систему *а*.

критерию минимума среднеквадратичной погрешности системы дано в [6].

В более сложных объектах управления при К. с. уже недостаточна коррекция только коэфф. усиления системы, но целесообразно применение *оптимизаторов автоматических*, осуществляющих автоматич. поиск необходимых значений ряда параметров, при к-рых достигается минимизация определенных статистич. критериев [2, 10]. УУ подобной системы К. с. (рис. 4) состоит из автоматич. многоканального оптимизатора A и блока формирования выбранного статистич. критерия B, состоящего из устройств типа *коррелометров*, нелинейных и логич. преобразователей, устройств суммирования и перемножения. Построение блока B и выбор его аппаратуры определяются реализацией уравнения выбранного статистич. критерия. Благодаря статистич. обработке данных, осуществляемой блоком B, уменьшается действие случайных возмущений на входе блока A, что улучшает условия его работы [2].

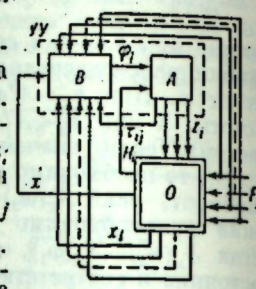


Рис. 4. Самонастраивающаяся система статистич. компенсации, основанная на принципе автоматич. поиска: x_i и F_j — контролируемые значения переменных системы и возмущений, действующих на систему.

При работе схемы автоматич. оптимизатора производится автоматич. поиск значений управляющих воздействий z_i на объект O и величин времени запаздывания τ_{ij} блока B с учетом значений допустимых ограничений H_i системы, при к-рых минимизируется значение выбранного статистич. критерия φ_i (напр., среднеквадратичного значения погрешности системы или значения взаимнокорреляц. ф-ции контролируемого возмущения F_j и регулируемой величины системы x и т. п.). УУ (рис. 4) может найти ряд применений для решения указанных ранее задач. Напр., возможно включать его в схему рис. 1 (вместо примененного там). В этом случае достигается коррекция не только коэфф. усиления k_x, но и постоянных времени, времени запаздывания, а также хар-к нелинейных звеньев системы. Это же УУ может применяться для коррекции параметров компенсирующего устройства в системах управления по возмущению [7—9] (см. также *Компенсация корреляционная*).

Лит.: 1) Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 2 изд., М., 1960; 2) Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; 3) Burt E. G. C., Self—optimising systems, в кн.: Regelungstechnik. Moderne Theorien und ihre Verwendbarkeit, hrsg. von G. Müller, Münch., 1957; 4) Mishkin E. and Braun L., Adaptive control systems, N.—Y.—Toronto—L., 1961; 5) Goodman T. P., Reswick Y. B., Determination of system characteristics from normal operating records, «Trans. ASME», 1956, v. 78, № 2; 6) Красовский А. А., Динамика непрерывных систем экстремального регулирования при случайных сигналах поиска, «ИАН. ОТН. Энергетика и автоматика», 1960, № 3; 7) Лернер А. Я., Применение самонастраивающихся систем автоматического управления, в кн.: Тр. I Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т. 6], М., 1961; 8) Челюсткин А. Б., Иванов В. А., Самонастраивающаяся система автоматического управления режимом сварки электротрубосварочных станов, «Э-во», 1960, № 2; 9) Догановский С. А., Автоматическая подстройка параметров компенсатора в системах регулирования по возмущению, «АиТ», 1959, т. 20, № 8; 10) его же, Оптимизация автоматических систем по статистическим критериям, там же, 1961, т. 22, № 7.

С. А. Догановский.

КОМПЕНСИРУЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО (compensating device; dispositif compensateur; Kompensationsgerät) — устройство для устранения или уменьшения влияния возмущающего воздействия на выходную величину объекта. Систему, включающую К. у., наз. также системой, построенной на основе компенсации возмущений. На вход К. у. подаются величины возмущающих воздействий $F_1, \ldots, F_n$ с соответствующими коэфф. $k_1, \ldots, k_n$ (рис. 1). Передаточная ф-ция блока, производящего компенсацию, подбирается так, чтобы устранить влияние возмущающих воздействий $F_i(t)$ на объект регулирования O. Компенсирующие воздействия $(U_1, \ldots, U_n)$ подаются на вход U объекта O. Такая система требует сравнительно точного знания передаточных хар-к объекта по различным каналам. Преимуществом подобных систем является быстрое устранение влияния возмущающих воздействий. Однако К. у. не могут выполнять задачу точного поддержания выходной величины системы на заданном уровне. Поэтому наибольшее распространение они нашли в виде корректирующих цепей, улучшающих свойства замкнутых систем регулирования.

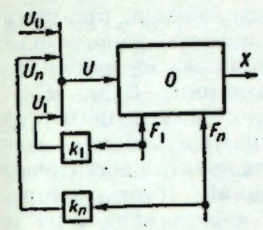


Рис. 1. Схема разомкнутой системы компенсирующего устройства.

Идея компенсации используется, напр., в двигателях пост. тока со смешанным (дифференциальным) возбуждением (см. *Компаундирование*). У таких двигателей скорость вращения может автоматически сохраняться почти постоянной независимо от момента нагрузки сопротивления или изменения напряжения на зажимах двигателя. Действительно, скорость вращения двигателя $\omega = \frac{U - r_я i_я}{c\Phi_я}$, где ω — угловая скорость вращения; U — напряжение на зажимах двигателя; $i_я$ — ток и $r_я$ — сопротивление цепи якоря; $\Phi_я$ — поток якоря; c — постоянная, зависящая от конструктивных параметров. При ненасыщ. магнитной системе двигателя со смеш. возбуждением $\Phi_я = k_1 U - k_2 i_я$. Если подобрать коэфф. k_1 и k_2 так, чтобы $k_2/ck_1 = r_я$, то $\omega = \frac{U - r_я i_я}{c[k_1 U - k_2 i_я]} = \frac{1}{ck_1} = \text{const}$. Этим свойством двигателя пост. тока со смеш. возбуждением пользуются для получения стабильной скорости вращения в различных механизмах и агрегатах.

Для известной линейной системы можно построить К. у., к-рое полностью нейтрализует влияние возмущающего воздействия при помощи дополнит. воздействия на выход по др. каналу. Практич. выполнение полной компенсации встречает ряд технич. трудностей, связанных с ограничениями в отдельных

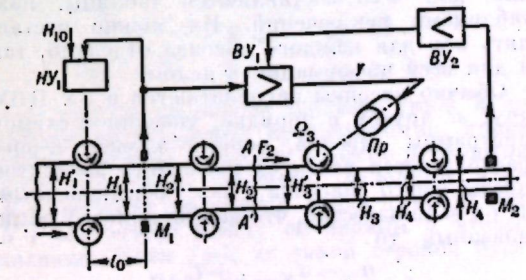


Рис. 2. Схема устройства непрерывного стана холодной прокатки.

звеньях и с невозможностью точного выполнения нек-рых преобразований координат объекта. Однако приближ. выполнение условий компенсации в ряде случаев оказывается возможным.

Принципы работы К. у. можно проследить на примере компенсирующего вычислит. устройства (ВУ) для прокатного стана. На рис. 2 даны 4 клети и схематически показан процесс обжатия полосы стали. Задача К. у., роль к-рого в данном случае выполняет $ВУ_1$,— стабилизация с возможно большей точностью толщины полосы на выходе из стана. Осн. возмущающим фактором является колебание толщины подката H. При увеличении H'_1 валки 1-й клети и связанная с ними станина испытывают упругую деформацию и неск. раздвигаются. Поэтому и толщина H_1 на выходе 1-й клети увеличивается. То же явление происходит и в остальных клетях; в результате толщина полосы на выходе стана увеличивается. Изменение толщины подката, имеющее значит. амплитуду и небольшую частоту, можно устранить на первой клети с помощью регулятора толщины, действующего на нажимное устройство $НУ_1$ этой клети. Остающиеся после регулятора нажимного устройства колебания толщины полосы можно скомпенсировать иным путем. Если увеличить переднее натяжение F_2 на 2-й клети, т. е. натяжение в сечении AA', то толщина полосы, выходящей из этой клети, уменьшится. При этом снизится сила давления на валки, что вызовет уменьшение упругой деформации валков и связанной с ними системы. Наоборот, если уменьшить переднее натяжение F_2, то толщина H_2 на выходе 2-й клети увеличится. Изменение натяжения F_2 может быть достигнуто путем изменения скорости вращения Ω_3 валков 3-й клети. Чтобы надлежащим образом изменять скорость Ω_3 привода 3-й клети, необходимо измерять толщину полосы микрометром M_1 еще до подхода данного сечения ко 2-й клети и подавать результаты измерения на $ВУ_1$. $ВУ_1$ вычисляет величину корректирующей добавки $У$ к Ω_3— установл. значению системы регулирования скорости Ω_3 валков. При идеальной компенсации толщина на выходе стана должна быть строго постоянной. Однако практически из-за ряда дополнительных, не поддающихся учету факторов, толщина на выходе не будет строго постоянной. В реальной системе К. у. может лишь уменьшить колебания толщины, т. н. разнотолщинность, на выходе. Для дальнейшего уменьшения разнотолщинности микрометром M_2 измеряют толщину полосы на выходе стана и результаты измерения подают на $ВУ_2$, воздействующее на $ВУ_1$ так, чтобы минимизировать разнотолщинность. Фактически, задача $ВУ_2$ — подбор параметров, к-рые либо изменяются в процессе работы стана, либо не могут быть вычислены заранее. Такое устройство будет уже самонастраивающейся системой.

Лит.: Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; Кулебакин В. С., Об основных задачах и методах повышения качества автоматически регулируемых систем, в кн.: Труды 2 Всесоюзного совещания по теории автоматического регулирования, т. 2, М.— Л., 1955; Петров Б. Н., О применении условий инвариантности, там же; Ивахненко А. Г., Электроавтоматика, ч. 1—2, Киев, 1954; Теория инвариантности и ее применение в автоматических устройствах. Труды совещания, сост. в г. Киеве, 16—20 октября 1958 г., М., 1959.

А. Б. Щубин.

КОМПИЛЯЦИИ МЕТОД (compiling method; méthode de compilateurs; Methode der Zusammenfassung, Zusammenfassungs-Methode) — автоматич. составление программы для ЦВМ по заданному описанию решения задачи на формальном языке, отличном от программы (см. *Автоматизация программирования*). Перво-

нач. описание решения задачи можно составить независимо от метода решения этой задачи (на ЦВМ или непосредственно человеком). Составлению программы для ЦВМ предшествует расширение исходного описания, т. е. составление расширенного *алгоритма* решения задачи (1-й этап программирования). Для автоматизации 2-го этапа программирования существуют различные системы, связанные с автоматич. составлением программы по расшир. алгоритму. Описание расширенного алгоритма наз. схемой программы. Последняя состоит из описаний отдельных операторов с заданным порядком выполнения. Т. о., для того чтобы по схеме программы составить программу, нужно записать каждый оператор в виде группы команд машины (расписывание) и объединить эти группы в единую программу (компоновка). Задача расписывания определяется языком, к-рый выбран в данном методе автоматизации программирования для описания операторов. Как правило, этот язык стараются сделать возможно более близким к языку обычных математич. описаний. Поскольку заранее неизвестно, во сколько команд машины распишется каждый оператор, нельзя составить распределение памяти машины до окончания расписывания, т. е. нельзя установить, в каких ячейках ЗУ будут расположены команды, соответствующие различным операторам, и обрабатываемая информация. Поэтому при расписывании в командах пишутся не истинные адреса ячеек ЗУ, а некоторые условные адреса. Задача компоновки — не только расположить имеющиеся группы команд в ЗУ, но и заменить условные адреса истинными адресами. Автоматич. компоновка является обязательной частью любого К. м. Она может иметь и самостоят. применение, если операторы в схеме программы описываются в виде групп команд, содержащих условные адреса. Такое описание значительно удобнее непосредств. программирования, и, поскольку системы автоматической компоновки достаточно просты, они часто употребляются как самостоятельные компилирующие системы.

Во время решения задачи ЗУ ЦВМ служит для хранения массивов, к-рые представляют собой либо группы команд (операторы), либо группы чисел, участвующих в счете. Каждый элемент массива (число или команда) занимает одну ячейку ЗУ. Истинным адресом такого элемента является номер соответствующей ячейки ЗУ. Обычно все элементы массива располагаются в ячейках ЗУ с последоват. номерами. Поэтому истинный адрес i-го элемента любого массива на $i-1$ больше, чем истинный адрес 1-го элемента того же массива. При составлении информации для системы автоматич. компоновки, т. е. при программировании в условных адресах, все массивы снабжаются номерами. Условный адрес к.-л. команды или числа состоит из двух частей — номера N массива, в к-рый они входят, и их порядкового номера i в этом массиве. После того как все массивы вводятся в ЗУ и располагаются в заданном порядке, становятся известны номера ячеек α_N, начиная с к-рых хранятся массивы. Тогда истинный адрес i-го элемента массива N, соответствующий условному адресу $N\cdot i$, можно вычислить по ф-ле

$$A(N\cdot i)=\alpha_N+i-1.$$

Напр., если массив № 10 расположен, начиная с ячейки № 1731, то его 3-й элемент расположен в ячейке №

$$A(10\cdot 3)=1731+3-1=1733.$$

Нередко в командах, принадлежащих нек-рому массиву, встречаются адреса команд или чисел, принадлежащих тому же массиву. Такие адреса наз. внутренними. Если к.-л. условный адрес является внутренним, то в нем не обязательно указывать номер массива, к к-рому он принадлежит, а достаточно указать, что он внутренний. Пусть, напр., известно, что условные адреса вида $20\cdot i$ и $21\cdot i$ являются внутренними для всех массивов. Тогда истинный адрес

$$A(20\cdot i)=A(21\cdot i)=A(N\cdot i)=\alpha_N+i-1,$$

где N — номер массива, в к-ром находится команда, содержащая данный адрес. Если же для нек-рых массивов адреса такого вида не являются внутренними, то в них

$$A(20\cdot i)=\alpha_{20}+i-1,\quad A(21\cdot i)=\alpha_{21}+i-1.$$

Каждый программист может сам решить, какого вида условные адреса и в каких массивах будут обозначать внутр. адреса, и в соответствии с этим составить таблицы внутр. адресов. В нек-рых системах автоматич. компоновки раз и навсегда предусматривается вид внутр. адресов, действительный для всех массивов, объединяемых при помощи этих систем.

В системах команд мн. ЦВМ предусмотрено использование нек-рых адресов команд не как номеров ячеек ЗУ машины, а в др. целях, напр. для указания величины сдвига. Такие адреса не изменяются в процессе компоновки. Поэтому в компонующих системах предусматривается сохранение тех адресов команд, к-рые, в соответствии с особенностями данной ЦВМ, не представляют собой номеров ячеек ЗУ. Такие адреса наз. постоянными. Кроме того, программисту могут быть заранее известны нек-рые истинные адреса, и нет смысла заменять их условными при программировании в условных адресах. Такие адреса также являются постоянными. Однако для того чтобы компонующая система могла отличить постоянные адреса этого типа от условных, программист должен указать их местоположение, для чего составляются таблицы, наз. таблицами исключений. Их можно составлять как для каждого массива отдельно, так и для всей информации в целом.

Обычно массивы располагаются в ЗУ ЦВМ друг за другом в порядке, указанном схемой программы. Массив, первый элемент к-рого располагается вслед за последним элементом предыдущего массива, наз. обыкновенным. Т. о., если известно, что массив номер N обыкновенный, то

$$\alpha_N=\alpha_{N-1}+l_{n-1},$$

где l_{n-1} — число элементов в массиве номер $N-1$. Однако иногда бывает удобно располагать программу в неск. изолированных частях ЗУ. Тогда появляются массивы, к-рые должны быть размещены не вслед за предыдущими, а начиная с нек-рой определенной ячейки ЗУ. Такие массивы наз. определенными. Кроме того, при внесении изменений или исправлений может оказаться необходимым вставить группу команд внутрь к.-л. массива команд. Такие группы команд наз. вложенным массивом, или вкладышем. При этом разбиваемый массив нецелесообразно разбивать на 2 массива, т. к. тогда придется изменять во всех командах адреса, относящиеся ко 2-й части этого массива. Пусть, напр., в массив № 31 нужно вложить после команды с условным адресом $31\cdot 10$ вкладыш № 33, содержащий 3 элемента (команды). Если 2-ю часть массива 31 сделать новым массивом (напр., № 40), то во всех массивах, где встречался адрес $31\cdot 11$, его нужно будет заменить на адрес $40\cdot 1$, т. е. изменение одного массива 31 может повлечь за собой изменения во мн. др. массивах.

Что касается числовых массивов, то их вообще не обязательно вводить в ЗУ ЦВМ во время работы компонующей системы, т. к. эти массивы не нужно обрабатывать, а достаточно просто отвести им место в ЗУ. Для таких массивов составляется таблица, в к-рой указывается длина каждого из них.

Итак, для использования компонующей системы необходимо: 1) запрограммировать все операторы в условных числах; 2) присвоить номер каждому массиву и определить его тип. Для определенных массивов сообщить истинные адреса, с к-рых они должны начинаться, для вложенных массивов сообщить условный адрес элемента, за к-рым они должны быть вставлены. Кроме того, для массивов, которые не будут вводиться в ЗУ при программировании, сообщить их длину; 3) составить таблицу внутр. адресов, если она нужна; 4) составить таблицу исключений, если она нужна. Работа компонующей системы обычно состоит из 2 этапов. Сначала массивы вводятся в ЗУ, и для каждого из них определяется номер ячейки, где находится первый элемент $A\ (N\cdot 1)=\alpha_N$. Результаты расположения массивов в ЗУ обычно объединяются в таблицу, наз. таблицей хар-к. В этой таблице каждому массиву соответствует строка из 3 чисел

$$N\cdot 1 \qquad N\cdot l_N \qquad \alpha_N,$$

где l_N — количество элементов в массиве номер N. Если массив k длины l_k вставляется в массив N после команды с условным адресом $N\cdot i$, то в таблицу заносятся 3 строки

$$\begin{array}{lll} N\cdot 1 & N\cdot i & \alpha_N \\ k\cdot 1 & k\cdot l_k & \alpha_N+i \\ N\cdot i+1 & N\cdot l_N & \alpha_N+i+l_k. \end{array}$$

После этого на основе таблицы хар-к и др. таблиц, составленных программистом, производится замена условных адресов истинными. Для того чтобы заменить условный адрес $N\cdot j$, сначала находится такая строчка, где $N\cdot j$ заключено между ее первым и вторым числами. Если $j>i$, то такой строкой будет

$$N\cdot i+1 \qquad N\cdot l_N \qquad \alpha_N+i+l_k.$$

Тогда истинный адрес

$$A\ (N\cdot j)=\alpha_N+i+l_k+[j-(i+1)]=\alpha_N+j-1+l_k.$$

т. е. он увеличен на l_k, что и нужно, т. к. в массив N до элемента j вложен массив k из l_k элементов.

Компонующие системы нередко применяются для изменения программ, составленных не в условных, а в истинных адресах. Пусть, напр., в программе, к-рая обычно располагается в ЗУ с ячейки 1500 до ячейки 1570, нужно группу команд 1524—1553 переставить в конец программы. Все изменения в адресах программы компонующая система может выполнить на основе трех строк таблицы хар-к

1500	1523	1500
1554	1570	1524
1524	1553	1540.

Если случайно в программе имеются адреса из интервала от 1524 до 1570, не обозначающие номеров ячеек, в к-рых расположены перемещаемые команды, то эти адреса необходимо указать в таблице исключений.

Э. З. Любимский.

КОМПЛЕКС (complex; système complexe; Komplex) — 1. Система элементов и их взаимосвязи. 2. Последовательность формул, для к-рой указаны кортежи (перечни) ее входных и выходных величин и область задания. К. являются средством формального описания *операторов логической схемы* и применяются при *равносильных преобразованиях логических схем*. Ф-лой наз. выражение вида:

$$\alpha_j:=\varphi(\alpha_1,\ \alpha_2,\ \ldots,\ \alpha_n), \qquad (1)$$

где $\varphi(\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n)$ — нек-рая ф-ция, а $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$ — ее аргументы. Знак «:=» наз. знаком присваивания. Вычисление ф-ции $\varphi(\alpha_1,\alpha_2, \ldots, \alpha_n)$ для конкретных значений ее аргументов и присвоение этого значения величине α_j (к-рая ранее могла быть неопределенной или иметь др. значение) наз. выполнением ф-лы (1).

К. состоит из входного кортежа $\alpha_{s_1}, \alpha_{s_2}, \ldots, \alpha_{s_m}$, нек-рой последовательности ф-л вида (1), выходного кортежа $\alpha_{r_1}, \alpha_{r_2}, \ldots, \alpha_{r_m}$ и m-мерного множества G точек, координаты к-рых являются значениями величин $\alpha_{s_1}, \alpha_{s_2}, \ldots, \alpha_{s_m}$. Последовательность ф-л может в частном случае сводиться к одной ф-ле или даже быть пустой (не содержать ни одной ф-лы). Выходной кортеж может содержать только те величины, к-рые встречаются во входном кортеже и (или) среди левых частей ф-л. Множество G должно содержать только такие точки, отправляясь от значений величин, равных координатам к-рых, можно последовательно выполнить все ф-лы, принадлежащие К. Множество G наз. областью задания К. Величины, являющиеся левыми частями ф-л и не принадлежащие выходному кортежу, образуют т. н. рабочий кортеж К. Выполнением К. для нек-рой конкретной точки из G наз. последовательное выполнение ф-л, входящих в К. В результате выполнения К. величины, принадлежащие выходному кортежу, либо сохраняют значения, приписанные им во входном кортеже, либо получают новые значения.

Пример комплекса. Входной кортеж: $\{x, y, z\}$. Последовательность формул:

$$u:=x+2y+1,\ x:=uy-2z,\ v:=\frac{x-5uz}{yz}.$$

Выходной кортеж: $\{x, v\}$. Область задания: множество G точек $T_{x,\ y,\ z}$, координаты к-рых удовлетворяют неравенствам $-\infty<x<+\infty$, $y>0$, $z>0$. Если взять точку $T_{x,\ y,\ z}$ (1, 1, 1), принадлежащую G, то выполнение первой ф-лы дает $u=4$; второй $x=2$ (вместо первоначального $x=1$); третьей $v=-18$. Величины выходного кортежа принимают значения

$x=2$, $v=-18$. Т.о., точка $T_{x,y,z}$ $(1,1,1)$ отображается на точку $R_{x,v}$ $(2,-18)$. Предположим, что для каждой величины α_{rk}, принадлежащей выходному кортежу К., выполнен следующий алгоритм: 1) просматривая последовательность ф-л в обратном порядке, найти первую ф-лу, левая часть к-рой одинакова с α_{rk}. Если такая ф-ла найдена, перейти к пункту 3, иначе — к пункту 2; 2) выписать ф-цию $\Phi_k=\alpha_{rk}$. Процесс прекратить; 3) правую часть найденной ф-лы принять за ф-цию Φ_k^*. Перейти к пункту четыре; 4) двигаясь дальше в обратном порядке по последовательности, заменять в Φ_k^* каждый раз аргумент, одинаковый с левой частью очередной ф-лы, правой частью этой ф-лы и получающуюся при этом новую ф-цию принимать за Φ_k^*. После того как все ф-лы последовательности будут исчерпаны, выписать ф-цию $\Phi_k=\Phi_k^*$. Процесс прекратить.

После выполнения для всех величин α_{rk} описанного алгоритма будет получена последовательность ф-ций Φ_1, Φ_2, ..., Φ_M, аргументами к-рых являются нек-рые из величин $\alpha_{s_1}, \alpha_{s_2}, \ldots, \alpha_{s_m}$. Предположим теперь, что буквы $\delta_{\lambda+1}, \delta_{\lambda+2}, \ldots, \delta_{\lambda+m}, \beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_M$ различны между собой и отличны от букв $\alpha_{s_1}, \alpha_{s_2}, \alpha_{s_m}$. Переименуем координаты $\alpha_{s_1}, \alpha_{s_2}, \ldots, \alpha_{s_m}$ точек, принадлежащих G, соответственно в $\delta_{\lambda+1}, \delta_{\lambda+2}, \ldots, \delta_{\lambda+m}$. Полученное множество точек обозначим через G'. Аргументы $\alpha_{s_1}, \alpha_{s_2}, \ldots, \alpha_{s_m}$ ф-ций Φ_k $(k=1,2, \ldots, M)$ заменим соответственно буквами $\delta_{\lambda+1}, \delta_{\lambda+2}, \ldots, \delta_{\lambda+m}$. После этого составим последовательность ф-л вида $\beta_k=\Phi_k(\delta_{\lambda+1}, \delta_{\lambda+2}, \ldots, \delta_{\lambda+m})$. Эта последовательность вместе с входным кортежем $\delta_{\lambda+1}, \delta_{\lambda+2}, \ldots, \delta_{\lambda+m}$, выходным кортежем $\beta_1, \beta_2, \ldots, \beta_M$ и областью задания G' образует К., наз. эквивалентом исходного К.

Пример эквивалента. Для К., приведенного в предыдущем примере, эквивалент имеет входной кортеж δ_1, δ_2, δ_3 (если положить $\lambda=0$); выходной кортеж β_1, β_2; последовательность ф-л

$$\beta_1 := (\delta_1+2\delta_2+1)\,\delta_2-2\delta_3$$

$$\beta_2 := \frac{(\delta_1+2\delta_2+1)\,\delta_2-2\delta_3-5\,(\delta_1+2\delta_2+1)\,\delta_3}{\delta_2\delta_3}$$

и область задания — множество G' точек $T_{\delta_1,\delta_2,\delta_3}$, координаты к-рых удовлетворяют неравенствам $-\infty<\delta_1<+\infty$, $\delta_2>0$, $\delta_3>0$. Рабочий кортеж эквивалента является пустым.

С помощью понятия эквивалента вводится понятие эквивалентности К. Предположим, что заданы два К., обозначенные соответственно R_1 и R_2, имеющие эквивалентами R_1' и R_2'. Пусть $\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_{l+1}, \ldots, \delta_{m_1}$ образуют входной кортеж и являются аргументами правых частей ф-л эквивалента R_1', а $\delta_{l+1}, \delta_{l+2}, \ldots, \delta_{m_1}, \ldots, \delta_{l+m_2}$ образуют входной кортеж и являются аргументами правых частей ф-л эквивалента R_2'. Точки N_1' из G_1' (области задания R_1') и N_2' из G_2' (области задания R_2') назовем связанными, если значения каждой из координат $\delta_{l+1}, \delta_{l+2}, \ldots, \delta_{m_1}$ для N_1' и N_2' между собой попарно равны. Предположим, что каждая точка из G_1' связана хотя бы с одной точкой из G_2' и обратно, каждая точка из G_2' связана хотя бы с одной точкой из G_1'. Ф-цию F, определенную в точках множества G_1' и ф-цию Φ, определенную в точках множества G_2', будем называть связанными, если их значения в связанных точках множеств G_1' и G_2' между собой равны. Если: а) правая часть каждой ф-лы из R_1' тождественно равна одному из своих аргументов или связана хотя бы с одной правой частью ф-лы из R_2' и б) то же с переменой ролей R_1' и R_2', то комплексы R_1 и R_2 наз. эквивалентными. При этом пишут $R_1 \sim R_2$.

Всякое изменение входного или выходного кортежа или последовательности ф-л К. R, в результате к-рого получается новый К., эквивалентный R наз. эквивалентным преобразованием. Эквивалентные преобразования К., при к-рых изменяется его входной кортеж, влекут за собой изменение его области задания.

Ниже перечислены 15 т. н. основных эквивалентных преобразований, образующих полную систему (в том смысле, что если два К. между собой эквивалентны, то любой из них можно свести к другому с помощью конечного числа таких преобразований). Преобразование 1. Если ф-ции φ и ψ между собой тождественны, то формулу $\alpha_j := \varphi$ можно заменить ф-лой $\alpha_j := \psi$. Преобразования 2 и 3. Ф-лу вида $\alpha_j := \alpha_j$ можно вычеркнуть. Такую ф-лу можно в любом месте включить в последовательность ф-л К. Преобразование 4. Если буквы α_i и α_j между собой неодинаковы и α_j не является (фактическим) аргументом ф-ции φ, то последовательные ф-лы $\alpha_i := \varphi$, $\alpha_j := \psi$ можно поменять между собой местами, одновременно заменяя в ф-ции ψ аргумент α_i ф-цией φ. Преобразование 5. Если буквы α_i и α_j неодинаковы, α_i не является аргументом φ и α_j входит в $\psi(\varphi, \alpha_1, \alpha_2, \ldots)$ только как аргумент φ, то последовательные ф-лы $\alpha_i := \psi(\varphi, \alpha_1, \alpha_2, \ldots)$, $\alpha_j := \varphi$ можно поменять местами, одновременно заменяя φ в $\psi(\varphi, \alpha_1, \alpha_2, \ldots)$ буквой α_j. Преобразования 6 и 7. Любую букву, не участвующую в К., можно включить в его входной и выходной или только во входной кортеж. Букву, участвующую только во входном и выходном или только во входном кортеже К., можно вычеркнуть. Преобразования 8 и 9. Пусть последняя ф-ла К. имеет вид $\alpha_i := \alpha_j$. Если α_i не входит, а α_j входит в выходной кортеж К., то α_i можно в него включить. Если α_i и α_j входят в выходной кортеж, то α_i можно из него исключить.

Для формулировки остальных эквивалентных преобразований необходимо понятие α-звена. Назовем элементами К. его входной кортеж, левые и правые части его ф-л и его выходной кортеж. Запишем в строку входной кортеж, затем последовательность ф-л, затем выходной кортеж и перенумеруем элементы К. слева направо. Пусть α — произвольная буква. Считается, что: а) перед первым элементом присутствует α-барьер; б) если левая часть i-той ф-лы одинакова с α, то между $2l$-тым и $(2l+1)$-тым элементами присутствует α-барьер; в) после последнего элемента присутствует α-барьер; г) нигде больше α-барьеров нет. Перенумеруем α-барьеры, двигаясь в направлении возрастания номеров элементов. Последовательность элементов, заключенных между двумя последовательными α-барьерами, наз. α-звеном. Совокупность элементов α-звена, состоящую из его первого элемента и нек-рого количества (к-рое может быть и нулем) следующих за ним ф-л, наз. начальным отрезком α-звена. Совокупность нек-рого количества (к-рое может быть равно и нулю) последовательных ф-л α-звена и непосредственно следующего за ними последнего элемента α-звена назовем конечным отрезком α-звена.

Преобразования 10 и 11. Если за ф-лой $\alpha_i := \varphi$ следует конечный отрезок α_i-звена, не содержащий буквы α_i, то ф-лу $\alpha_i := \varphi$ можно вычеркнуть. Перед конечным отрезком α_i-звена, не содержащим в своих элементах буквы α_i, можно записать ф-лу $\alpha_i := \varphi$ (при условии, что эта ф-ла будет выполнимой). Преобразования 12 и 13. Если в К. присутствует пара последовательных ф-л $\alpha_i := \varphi$, $\alpha_j := \varphi$ с одинаковыми правыми частями, причем α_i не является (фактическим) аргументом ф-ции φ, то в примыкающей к этим ф-лам общей части конечных отрезков α_i-звена и α_j-звена можно: а) букву α_i всюду или в нек-рых местах заменить буквой α_j; б) букву α_j всюду или в нек-рых местах заменить буквой α_i. Преобразование 14. Если буква α_i не встречается в К., то в любом α_j-звене или в любых нескольких α_j-звеньях можно букву α_j заменить буквой α_i. Преобразование 15. Пусть α_i-звено разделено на две части α_j-барьером так, что в элементах α_i-звена, расположенных до α_j-барьера, не содержится буква α_j, а в элементах α_i-звена, расположенных после α_j-барьера, не встречается буква α_i. Тогда в рассматриваемом α_i-звене можно букву α_i заменить буквой α_j. Заметим, что в частном случае после α_j-барьера может не быть элементов α_i-звена, т. е. вторая часть α_i-звена может быть пустой. Это имеет место, когда последним элементом α_i-звена является выходной кортеж.

Единичным наз. К., у к-рого входной и выходной кортежи одинаковы и при выполнении к-рого каждая точка его области задания преобразуется в саму себя. С помощью эквивалентных преобразований можно всякий единичный К. свести к единичному К., имеющему пустую последовательность ф-л.

При равносильных преобразованиях логич. схем важное значение имеют нек-рые действия над К., не сводящиеся к их эквивалентным преобразованиям. К их числу относятся сложение К., умножение К. и разложение К. на слагаемые или на сомножители. Если три К. R_1, R_2 и R отличаются друг от друга только своими областями задания G_1, G_2 и G, причем $G = G_1 \cup G_2$ ($\cup$ — знак теоретико-множественного сложения), т. е. множество G является объединением множеств G_1 и G_2, то R наз. суммой в узком смысле, а R_1 и R_2 — слагаемыми в узком смысле. Если, кроме того, имеются два К. R_1' и R_2', удовлетворяющие условиям $R_1' \sim R_1$, $R_2' \sim R_2$, то R наз. суммой в широком смысле (коротко — суммой) слагаемых в широком смысле (коротко — слагаемых) R_1' и R_2'. Т. к. каждый К. эквивалентен самому себе, то сумма в узком смысле и слагаемые в узком смысле являются суммой и слагаемыми (обратное утверждение неверно). Как получение суммы К., так и разложение К. на слагаемые можно производить различными способами. Пусть для трех К. R_1, R_2 и R, имеющих области задания соответственно G_1, G_2 и G, выполнены условия: а) рабочий кортеж К. R_1 не пересекается (т. е. не содержит одинаковых букв) с входным кортежем К. R_2; б) входной кортеж К. R совпадает с входным кортежем К. R_1; в) G совпадает с G_1 или является частью G_1; г) последовательность ф-л К. R совпадает с тем, что получится, если к последовательности ф-л К. R_1 приписать последовательность ф-л К. R_2; д) после выполнения К. R_1 для точек, принадлежащих G, величины, принадлежащие входному кортежу К. R_2, получают значения, являющиеся координатами точек из G_2; е) выходной кортеж К. R содержит буквы, принадлежащие либо выходному кортежу R_2, либо выходному кортежу R_1 (но не рабочему кортежу К. R_2). В описанном случае говорят, что R является произведением сомножителей R_1 и R_2 (перемена порядка сомножителей не допускается). Рассекая последовательность ф-л К. на две последовательности и выбирая соответствующим образом кортежи (входные и выходные) и области задания, можно этот К. разложить на сомножители (вообще говоря, многими способами).

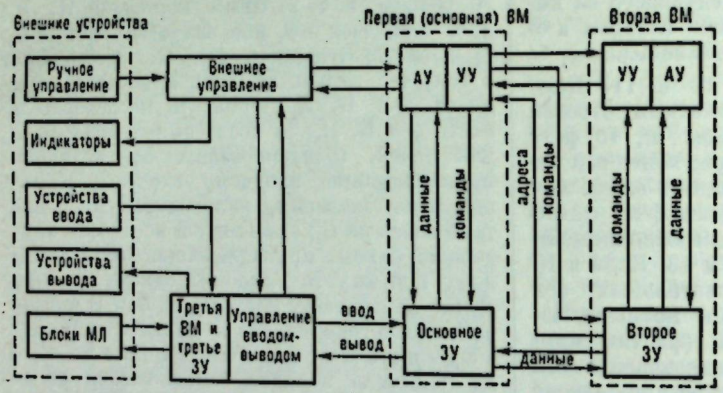
Удобство применения К. как изображения операторов логич. схемы связано с тем, что, считая буквы названиями ячеек ЗУ ЭЦМ, можно без особого труда перейти от ф-л К. к командам или группам команд программы. В тех случаях, когда К. применяются только для описания операторов логич. схемы, а не для равносильных преобразований последней, области задания и кортежи (входные и выходные) не указывают, приводя лишь входные и выходные величины логич. схемы в целом.

И. А. Кринецкая.

КОМПЛЕКСИРОВАНИЕ МАШИН (computer grouping; groupement de calculateurs; Komplexierung von Maschinen) — объединение неск. цифровых вычислит. или управляющих машин в единую систему с целью повышения производительности или надежности. К. м. применяется при решении сложных задач с вводом информации от периферийных пунктов в центр, где она обрабатывается, часть данных запоминается, а часть направляется в пункты назначения. Для круглосуточной работы управляющих цифровых машин (амер. система ПВО «Сейдж») применяется дублирование ЦВМ, при к-ром осн. машина обрабатывает информацию, а резервная находится на профилактич. ремонте или работает по вспомогат. программе. Надежная работа системы достигается режимом взаимной проверки и возможностью автоматич. переключения цепей основной и резервной машин. Вид переключения (полный или частичный переход на резервную машину, продолжение работ в старом режиме и т. д.) определяется оператором в зависимости от характера неисправности осн. машины.

При решении задач на сдвоенных машинах одна из них работает по осн. программе, а вторая — по вспомогательной, производя поиск информации во внешнем накопителе,

предварит. обработку новой информации или модификацию адресов команд. Связь между машинами может осуществляться непосредственно, когда одна машина обращается к внутр. накопителю другой, или через буферные устройства. Процесс согласования работы обеих машин наиболее прост при идентичности хар-к и команд. Обмен информацией между машинами может производиться как программным, так и схемным способами. На рис. дана система, состоящая из трех машин, соединенных



Блок-схема системы совместно работающих машин.

линиями связи. Первая (основная) машина является универсальной быстродействующей полноразрядной машиной, выполняющей наиболее точные арифметич. и логич. операции обработки данных. Вторая (вспомогательная) следит за различными частями программы и выполняет спец. операции модификации адресов команд, счет итераций и т. д. Третья машина служит для подготовки, приема и предварит. обработки вводимых данных, коммутации устройств ввода—вывода, выдачи данных в нужное время из машины. Все три машины, так же, как внешние устройства системы, имеют доступ к быстродействующему внутреннему ЗУ осн. машины. Обмен информацией между внутренним ЗУ и внешними устройствами идет параллельно с выполнением осн. программы. Возможные задержки в обработке автоматически ликвидируются системой, к-рая разрешает конфликты и точно устанавливает, какая из машин должна работать в точках пересечения программ. Для этой цели в каждом канале ввода — вывода создаются автоматич. управление и блокировка, с помощью к-рых регулируется поток данных в любом направлении между внешними и внутр. устройствами. Внешнее управление обеспечивает дистанц. ввод данных в систему и может прерывать в любое время осн. программу. Каждая машина должна не только выполнять свою программу, но и обмениваться управляющими сигналами с др. машинами системы.

Сообщения всех видов, к-рыми обмениваются различные машины, можно подразделить на следующие категории: а) передача данных между ЗУ различных машин системы. По окончании передачи от принимающего блока не требуется немедленного действия; б) передача команд или приказов, которые требуют немедленного ответного действия от принимающего блока. Передаваемая информация становится частью текущей команды принимающей машины, т. е. причиной некоторого нового действия; в) передача запросов, когда передающая машина запрашивает состояние нек-рых хар-к др. машины и выбирает одну из ветвей своей программы соответственно ответу «да» или «нет»; г) передача сигналов готовности (требований действия), при к-рой одна машина извещает другую о том, что она достигла такой точки в своей программе, когда дальнейшее действие должно определяться тем устройством, к-рому послан сигнал готовности.

При решении задачи осн. машина посылает приказ о выполнении определ. работы 2-й машине. Выполнив работу, 2-я машина посылает сигнал окончания работы и останавливается, если осн. машина не может принять в данный момент результат решения. Прием данных осуществляется по сигналу запроса, к-рый осн. машина посылает 2-й при достижении нек-рой точки в своей программе. Далее 2-я машина ожидает нового приказа. Если осн. машина пошлет запрос раньше окончания работы 2-й машины, она будет бездействовать до тех пор, пока 2-я машина не выдаст результат. Для того чтобы 1-я и 2-я машины при необходимости могли в равной степени управлять порядком выполнения осн. программы, адрес следующей команды осн. программы удобно хранить в одной из оперативных ячеек (базовых регистров) памяти 2-й машины. Программа 2-й машины может вызывать данные из 1-й машины в накопители 2-й машины и может также передавать информацию между устройствами осн. машины. Т. о., 2-я машина может анализировать команды осн. программы и менять ход вычислит. процесса. 3-я машина принимает команды из осн. машины, выполняя спец. программы ввода и вывода данных. Благодаря применению подпрограмм во 2-й и 3-й машинах обе машины, действуя совместно, могут выполнять широкий круг сложных операций (сложные типы сортировок, перекрестные пересылки, операции с большими массивами чисел, анализ ошибок) без усложнения осн. программы. Общая производительность системы совместно работающих машин при рациональном программировании может превзойти в десятки и сотни раз производительность осн. машины.

Лит.: Батраков В. А., Богатырев В. И., Электронные цифровые машины для решения информационно-логических задач, М.— Л., 1961; Совместная работа нескольких вычислительных машин, «Экспресс-информация. Серия ВТ-130», 1959, вып. 33, № 129—132; Чао, Рочелу, Сдвоенная модель электронно-вычислительной машины — Мобидик, «ЗР», 1960, № 11; Leiner A. L., Notz W. A., Smith J. L., Marimont R. B., Conn currently operating computer systems, «Proc. Intern. Conf. Inform. Processing», 1959, June; Кибернетический сборник. Сб. переводов, [№] 2, М., 1961.

Г. Б. Смирнов.

КОМПЛЕКСНАЯ АВТОМАТИЗАЦИЯ [integrated (over all) automation; automation intégrale; komplexe Automatisierung] — этап автоматизации произ-ва, при к-ром весь комплекс операций по обработке материалов, включая их транспортировку, осуществляется системой автоматич. машин и технологич. агрегатов по заранее заданным программам и режимам с помощью различных автоматич. устройств, объединенных общей системой управления. При К. а. функции человека в управлении технологич. процессом сводятся к наблюдению за ходом процесса, анализу его показателей и выбору режимов работы оборудования как совокупности заданий автоматич. регуляторам и программным устройствам, при к-рой в данных условиях достигаются наилучшие показатели. Наиболее легко К. а. осуществляется при непрерывных производств. процессах, отдельные участки к-рых принудительно связаны единым материальным потоком.

Примером К. а. процесса является *автоматическая линия*, в к-рой каждый станок-автомат с помощью программного устройства выполняет заранее заданную последовательность движений своих рабочих органов для осуществления данной фазы обработки материала, а вся совокупность станков линии, связанных автоматически действующими транспортными устройствами,— общую последовательность фаз обработки до получения готового изделия.

Комплексно автоматизированными пр-тиями в СССР являются почти все районные ГЭС. Управление основным электрич. и механич. оборудованием на этих станциях осуществляется автоматически, а контроль за его работой сосредоточен, как правило, в одном пункте, откуда сменный диспетчер устанавливает требуемые режимы.

Успешность К. а. действующих участков произ-ва почти целиком определяется соответствием имеющегося оборудования и технологии требованиям автоматич. управления. Оборудование большинства действующих пр-тий рассчитано на ручное управление. Поэтому К. а., как правило, должна сопровождаться модернизацией или полной заменой оборудования, изменением технологии и организации произ-ва, при к-рых возможности автоматич. управления в части быстродействия и точности использовались бы в полной мере. К. а. какого-либо участка произ-ва должен предшествовать тщательный технико-экономический анализ всего комплекса мероприятий для определения экономич. эффективности (см. *Экономическая эффективность автоматизации*).

К. а. позволяет централизовать управление производств. процессом, сократить персонал, увеличить производительность оборудования, повысить качество продукции и снизить расходные коэфф. Для сложных процессов централизация управления требует применения систем автоматич. контроля, позволяющих собирать информацию о ходе управляемого процесса и передавать человеку в удобном для него виде (см. *Контроль автоматический*). К. а. является ступенью для перехода к *полной автоматизации*, завершающейся созданием цехов и заводов-автоматов. См. *Автоматизация производства*.

С. П. Красинский.

КОМПЛЕКСОВ ПАКЕТ (complex group; groupe de complexes; Komplex-Paket) — конечное или счетное множество *комплексов*, к-рые имеют одинаковые входные кортежи (перечни) и непересекающиеся области задания. Теоретико-множественная сумма (объединение) областей задания комплексов, образующих К. п., наз. областью задания К. п. Два К. п. наз. эквивалентными, если с помощью операций расчленения комплексов на конечное число комплексов-слагаемых и объединения конечных чисел комплексов в комплексы-суммы каждый из К. п. можно свести к новому К. п. таким образом, что каждому комплексу первого нового К. п. взаимно-однозначно соответствует эквивалентный ему комплекс из второго нового К. п.

Н. А. Криницкий.

КОМПОЗИЦИЯ СЛОВ (word composition; composition de mots; Wortzusammensetzung)— построение по неск. заданным словам с помощью правила, дающего однозначный результат, нового слова, в к-рое каждое из исходных слов входит вполне определенным образом. Слово, получающееся в результате К. с., также наз. К. с. Правило, по к-рому производится К. с., наз. законом композиции. Понятие К. с. тесно связано с понятием вхождения одного слова в другое. Будем считать, что буквы слов перенумерованы в порядке их расположения. Пусть слово P имеет длину n и пусть σ есть последовательность целых положит. чисел $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_n$, каждое из к-рых удовлетворяет неравенству $1 \leqslant \lambda_i \leqslant n$. Слово Q, состоящее из m букв и удовлетворяющее условию, что каждая его i-тая ($i=1,2, \ldots, m$) буква одинакова с λ_i-той буквой слова P, наз. вхождением в P с хар-кой σ. Говорят также, что Q входит в P с хар-кой σ. Если хар-ка σ вхождения Q в P удовлетворяет условию $\lambda_{i+1}=\lambda_i+1$, т. е. состоит из последоват. целых чисел, то вхождение наз. п р о с т ы м. Каждое простое вхождение в P является «куском» слова P, состоящим из его последоват. букв. Простейший вид К. с.— их т. н. о б ъ е д и н е н и е (приписывание друг к другу). Каждое из исходных слов, участвующих в объединении, есть простое вхождение в получаемый результат.

Законом К. с. $Q_1, Q_2, \ldots, Q_k$ может быть совокупность хар-к $\sigma_1, \sigma_2, \ldots, \sigma_k$ вхождений этих слов в искомую К. с. Для этого должны выполняться условия: а) числа, образующие хар-ки, удовлетворяют неравенству $1 \leqslant \lambda \leqslant n$, б) всякое целое число из 1, 2, ..., n встречается хотя бы один раз хотя бы в одной из хар-к; в) равные между собой числа хар-к соответствуют одинаковым буквам в словах $Q_1, Q_2, \ldots, Q_k$.

Большой интерес представляют такие К. с., в к-рых участвует неск. слов, причем одно из слов и закон композиции заданы, а в качестве остальных слов могут быть взяты слова из нек-рых множеств слов. В таких случаях закон композиции является групповым. Напр., если программу считать одним словом, а всякий вариант исходных данных задачи возможным вторым словом, то закон, по к-рому программа и исходные данные размещаются совместно в ЗУ ЭЦМ, является нек-рым групповым законом композиции. Точно также каждая команда с определенным кодом операции является К. с., в к-рой одно слово задано (код операции), а другие исходные слова могут быть взяты из множества номеров ячеек (адреса). Законом композиции (групповым) является правило взаимного расположения адресов и кода операции в команде (в последнем примере для простоты предполагается, что команда состоит только из кода операции и адресов).

Н. А. Криницкий.

КОНВЕКЦИОННЫЙ ТОК (convection current; courant de convection; Konvektions-

strom) — электрич. ток, обусловленный переносом электрич. зарядов элементарными частицами, движущимися в свободном пространстве, т. е. движение элементарных заряж. частиц в газах и в вакууме. Условное направление К. т. совпадает с движением положительно заряж. частиц. В отличие от тока проводимости, К. т. нелинейно зависит от напряженности электрич. поля, под действием к-рого он протекает. Плотность К. т. равна произведению объемной плотности заряда движущихся частиц на их скорость.

Лит.: Нейман Л. Р., и Калантаров П. Л., Теоретические основы электротехники, 5 изд., ч. 1, М.—Л., 1959. *А. Е. Розинкин.*

КОНДЕНСАТОР (capacitor; condensateur; Kondensator) — система из двух (или более) проводников (обкладок), разделенных диэлектриком (толщина к-рого мала по сравнению с линейными размерами обкладок) и обладающих взаимной электрич. емкостью C, много большей емкости каждого из них по отношению к др. проводникам, в частности по отношению к земле. К. применяются в электрич. цепях в качестве сосредоточенной емкости. Емкость К. пропорциональна диэлектрич. проницаемости диэлектрика ε и тем больше, чем меньше толщина диэлектрика и чем больше площадь обкладок. Диэлектриком служат газы, жидкости и твердые электроизоляционные вещества с ε от 1 (газы) до 10^4 (сегнетокерамика). В случае газа или жидкости обкладками служат 2 системы металлич. пластин, зазор между к-рыми обеспечивается дистанционными прокладками из твердого диэлектрика. К. с твердым диэлектриком имеют обкладки в виде тонкой металлич. фольги или слоев металла, непосредственно нанесенных на диэлектрик вжиганием или испарением в вакууме. Иногда тонкий слой твердого диэлектрика (оксид металла, слой лака) наносится на поверхность металлич. фольги, служащей 1-й обкладкой; 2-й обкладкой является металлич. (иногда полупроводниковая) пленка, нанесенная поверх слоя диэлектрика, или электролит, в к-рый погружается оксидированная фольга (электролитич. конденсаторы, см. ниже).

При подключении К. к источнику пост. напряжения U на его обкладках накапливается электрич. заряд, а в диэлектрике создается электрическое поле с энергией $W=\frac{1}{2}CU^2$ *дж* (C — в *ф*, U — в *в*). Эта энергия может быть использована при кратковременном разряде К., напр. для получения радиолокационных импульсов, в электросварке, в генераторах импульсов высоких напряжений и больших токов, в фотографии (вспышка света), при исследовании термоядерных реакций и т. д.

При включении К. в цепь переменного напряжения возникает реактивный (емкостный) ток $I_{эфф}=U_{эфф}/X_c$, где X_c — реактивное сопротивление К. Реактивное сопротивление $X_c \approx 1/2\pi fC$ *ом* (f — частота в *гц*, C — емкость в *ф*) изменяется обратно пропорционально частоте; поэтому К. широко применяются в электрич. фильтрах для разделения токов разной частоты или пост. и перем. составляющих выпрямленного тока. Реактивная мощность К. $P_р=2\pi U^2fC$ *вар* (вольт-ампер реактивный). Вектор тока через К. опережает вектор напряжения примерно на 90°, это позволяет применять К. в электроэнергетике для повышения коэфф. мощности (улучшения cosφ) промышленных предприятий с индуктивной нагрузкой, для продольной емкостной компенсации индуктивности линий электропередач высокого напряжения, в конденсаторных электродвигателях (асинхронных однофазных) и т. д.

Система из К. и катушки индуктивности образует колебательный контур, обладающий частотой колебаний $f \approx 1/2\pi\sqrt{LC}$, где L — индуктивность в *гн*, C — в *ф* и f — в *гц*. Такие контуры применяются в технике ВЧ и в электронике.

Основные хар-ки К.: **рабочее напряжение** — напряжение, к-рое К. должен выдерживать без пробоя длительное время (обычно более 10 000 час.); **испытательное напряжение** — напряжение, к-рое К. выдерживает при кратковременном испытании (от 5 *сек* до 1 *мин*); превышает рабочее в 2—3 раза; **сопротивление изоляции** $R_{из}$ или **постоянная времени** $R_{из}\cdot C$ (*Мом·мкф* или *сек*), определяющие ток утечки через К.; **угол диэлектрич. потерь** δ (дополняющий угол сдвига фаз между векторами тока и напряжения до 90°), определяющий активную мощность P_a, выделяемую в К., и его перегрев Δt над окружающей средой: $P_a=2\pi U^2fC\operatorname{tg}\delta=a_TS\Delta t$; здесь P_a в *вт*, U в *в*, C в *ф*, f в *гц* коэфф. теплоотдачи a_T в *вт/см²·град*, поверхность охлаждения S в *см²* и Δt в °С; δ зависит от свойств диэлектрика и металлич. обкладок, от темп-ры и частоты. Качество К. характеризуется также стабильностью его емкости при изменениях темп-ры (ТКЕ$=\frac{1}{C}\frac{dC}{dT}$ — температурный коэфф. емкости) и при длит. хранении ΔC_t, а также точностью емкости (макс. отклонением емкости от номинального значения) ΔC_N.

По виду применения К. разделяют на: К. низкого напряжения НЧ (должны иметь большую уд. емкость $C_{уд}=C/V$, где V — объем К.); К. высокого напряжения постоянного тока (должны иметь большую уд. энергию $W_{уд}=CU^2/2V$); К. низкого напряжения ВЧ (должны обладать высокой $C_{уд}$, высокой стабильностью емкости, малыми P_a и заданным по величине и знаку ТКЕ); К. высокого напряжения низкой и высокой частоты (должны иметь высокую $P_{руд}=P_p/V$ и малые $P_{ауд}=P_a/V$).

Типы электрических конденсаторов. К. бывают постоянные, переменные и полупеременные (триммеры) и различаются по типу диэлектрика, форме обкладок, величине емкости и рабочему напряжению (см. табл.). К. **с газообразным диэлектриком** имеют малые tgδ и ТКЕ, не зависящую от частоты емкость, восстанавливаются после пробоя, но $C_{уд}$ у них мала, и рабочее напряжение сравнительно низкое. Воздушные К. пост. емкости применяются гл. обр. в электроизмерит. схемах в качестве образцовых К. Воздушные К. перем. емкости применяются для настройки колебат. контуров радиопередатчиков и радиоприемников; емкость таких К. можно изменять по заданному закону путем перемещения (вращения) одной системы пластин — ротора — относительно другой — статора (рис. 1). В зависимости от формы пластин К. перем. емкости могут быть след. типов: прямоемкостные (емкость прямо пропорц. углу поворота), прямоволновые и прямочастотные (соответственно резонансная длина волны или резонансная частота колебат. контура прямо пропорциональны углу поворота) и логарифмические (относит. изменение емкости на 1° угла поворота постоянно в пределах всей шкалы). В подстроечных К. (полупеременных) емкость изменяется только при начальной регулировке или при ремонте аппаратуры; далее подобранное положение обкладок фиксируется. Газонаполненные (напр., азотом под давлением 15—20 *ат*) К. пост. или перем. емкости применяются в мощных колебат. контурах при амплитуде испытат. напряжения от 20 до 40 *кв* и частоте 10^5—10^6 *гц*. Вакуумные К. применяются гл. обр. в авиааппаратуре при частотах 10^6—10^9 *гц*.

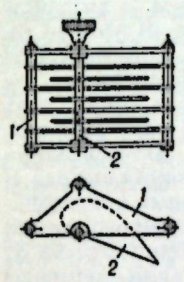


Рис. 1. Воздушный конденсатор переменной емкости: 1 — статор; 2 — ротор.

К. **с жидким диэлектриком** имеют $C_{уд}$ несколько выше, чем К. с газообразным диэлектриком, но вместе с тем также бо́льшие ТКЕ и $P_{ауд}$; применяются редко.

К. **с твердым неорганическим диэлектриком**. К ним относятся: а) стеклянные К. с повышенным tgδ при высоких частотах и сравнит. малой $C_{уд}$; употребляются очень редко, гл. обр. при высоких напряжениях НЧ; при низком напряжении ВЧ применяются стеклоэмалевые К.; б) слюдяные К. с малым tgδ даже при ВЧ и сравнит. малым ТКЕ (если обкладками служит серебро, нанесенное на поверхность слюды); применяются в радиоаппаратуре и в высокочастотной аппаратуре проводной связи в опрессованном пластмассой (КСО) или в герметизированном (КСГ) виде; в) керамические К. (рисунок 2,*а—г*) с малым tgδ и стабильной емкостью, но сравнительно малой $C_{уд}$; широко распространены в технике ВЧ; при низком $U_{раб}$ применяются в виде дисков (КДК) и трубок (КТК) с посеребренной поверхностью, при высоком — керамич. К. горшкового (КВКГ) и бочоночного (КВКБ) типа; г) сегнетокерамические К., имеющие большую $C_{уд}$, но повышенный tgδ и сильную зависимость емкости от темп-ры; нелинейность емкости этих К. (зависимость емкости от напряжения) позволяет применять их для стабилизации напряжения, умножения частоты, усиления колебаний; д) полупроводниковые К. (варикапа, семикапа) малой емкости; эта емкость также зависит от приложенного напряжения. В этих К. диэлектриком служит запорный слой на границе раздела двух полупроводников с *p*- и *n*-проводимостью.

К. **с твердым органическим диэлектриком** (обычно бумагой) изготовляются путем намотки длинных тонких

Рис. 2. Типы конденсаторов: керамические — *а* — низковольтный дисковый; *б* — низковольтный трубчатый; *в* — высоковольтный бочоночный; *г* — высоковольтный горшковый (*1* — выводы, *2* — обкладки из серебра, *3* — глазурованная поверхность керамики); *д* — электролитический [*1* — вывод положительного полюса, *2* — бумажные прокладки, *3* — неоксидированная алюминиевая фольга (катод), *4* — оксидированная алюминиевая фольга (анод), *5* — вывод отрицательного полюса, контактирующий с металлич. корпусом].

Характеристики основных типов конденсаторов постоянной емкости

Тип конденсатора	Пределы напряжения (*в*)	Пределы номинальной емкости (*пф*)	ΔC_N* (%)	ΔC_t (%)	ТКЕ**·10^6 (град$^{-1}$)	tg δ·10^4	$R_{из}\cdot C$*** (*Мом·мкф*)
Воздушный	10^2—10^3	10—10^3	±(0,1—1)	0,01—0,1	+(30—100)	0,1—5	—
Газонаполненный	10^4—10^5	10^2—10^4	±(0,1—1)	0,01—0,1	+(50—100)	0,5—1	—
Вакуумный	10^3—10^4	10—10^3	±2	0,01—0,02	+(20—30)	0,1—1	—
Слюдяной	10^2—10^4	10—10^5	±(0,1—2)	0,01—0,5	±(50—100)	5—10	10^3
Стеклоэмалевый	10^2—10^3	10—10^3	±2	0,01—0,02	+140	10—15	—
Керамический высокочастотный	10^2—10^4	1—10^4	±2	0,01—0,02	от −1500 до +150	10—12	—
Полистирольный	10^2—10^4	10^2—10^6	±(0,5—1)	0,1—0,2	−150	5—10	10^3—10^6
Бумажный	10^2—10^5	10^3—10^9	±(5—10)	1—2	—	30—100	10^3—10^4
Электролитический	(6—5)·10^2	10^5—10^9	±20	5—10	—	1000—1500	10—10^3
Сегнетокерамический	10^2—10^3	10^3—10^5	±20	10—20	—	100—400	10^2—10^3

* Указаны наилучшие значения точности емкости, достигаемые для различных вариантов конструкции. ** ТКЕ не указан для тех типов конденсаторов, у к-рых изменения емкости с темп-рой относительно велики и нелинейны. *** Пост. времени $R_{из}\cdot C$ указана для конденсаторов с емкостью 0,01 *мкф* и выше; при малых емкостях обычно гарантируется $R_{из}$ не ниже нес к. тысяч *Мом*.

Электролитич. К. обладают очень большой $C_{уд}$, но и большим tgδ и недостаточной стабильностью емкости; обычно униполярны (нормально работают при подаче «плюса» на вывод и «минуса» на корпус). Диэлектриком служит слой окиси алюминия, нанесенный электролитич. путем на алюминиевую фольгу (анод); такая оксидированная фольга находится в контакте с вязким раствором электролита, которым пропитана прокладка из бумаги или марли (рис. 2,*д*). Применяются гл. обр. в электрич. фильтрах. Замена алюминия танталом приводит к уменьшению объема К. и к улучшению его электрич. характеристик.

Лит.: Рение В. Т., Электрические конденсаторы, 2 изд., М.— Л., 1959; его же, Современные бумажные конденсаторы, М.— Л., 1948; Аршанский М. Е., Керамические конденсаторы малой реактивной мощности, М.— Л., 1953; Закгейм Л. Н., Электролитические конденсаторы, М.— Л., 1954; Казарновский Д. М., Сегнетокерамические конденсаторы, М.— Л., 1956; Поликов Б. А., Конденсаторные установки для повышения коэффициента мощности, М.— Л., 1950.

КОНДУКТИВНАЯ СВЯЗЬ (conductive coupling; accouplemente conductrice; galvanische Kopplung) — см. *Трансформаторная связь.*

КОНЕЧНЫЙ АВТОМАТ (finite automata; automate finie; endlicher Automat) — математич. модель управляющей системы с фиксированным (не способным к увеличению в процессе работы) размером памяти. Понятие К. а. является математич. абстракцией, характеризующей общие черты мн. управляющих систем (напр., *релейного устройства многотактного*). У всех таких систем имеются общие признаки, к-рые естественно принять в качестве определения К. а. Всякий К. а. имеет вход, подвергающийся внешним воздействиям, и внутр. элементы. Как для входа, так и для внутр. элементов существует фиксированное число дискретных состояний, к-рые они способны принимать. Изменение состояний входа и внутр. элементов происходит в дискретные моменты времени, интервалы между к-рыми наз. тактами. Внутр. состояние (состояние внутр. элементов) в конце такта полностью определено внутр. состоянием и состоянием входа в начале такта. К указанной хар-ке могут быть сведены все др. определения К. а., в частности определения, предполагающие у К. а. наличие выхода, зависящего от внутреннего состояния К. а. в данный момент. С точки зрения такой хар-ки, для описания К. а. не имеет никакого значения природа его входов и внутр. состояний. Можно вместо входов и состояний рассматривать просто их номера в произвольно выбранной нумерации. К. а. будет задан, если будет указана зависимость номера его внутр. состояния от номера предыдущего внутр. состояния и номера предыдущего состояния входа. Такое задание может иметь вид конечной таблицы. Др. распространенный способ задания К. а.— построение т. н. диаграммы переходов (см. *Переходов диаграмма*). Состояния входа часто наз. просто входами, а внутр. состояния — просто состояниями.

К. а. может быть моделью как технич. устройств, так и нек-рых биологич. систем. К. а. первого типа являются, напр., релейные устройства и цифровые вычислит. машины. В случае релейного устройства роль состояний входа играют комбинации состояний *воспринимающих элементов релейного устройства* (каждая комбинация таких состояний представляет собой «сложное состояние», характеризуемое указанием для всех воспринимающих элементов тех дискретных состояний, к-рые они имеют в данный момент). Аналогично, комбинации состояний *промежуточных элементов релейного устройства* играют роль внутр. состояний. ЦВМ представляет собой пример устройства релейного действия, к-рое может быть названо автономным К. а. Действительно, после того как в такую машину введена программа и машина начала вычисление, она не подвергается внешним воздействиям, причем каждое ее последующее состояние полностью определено ее предыдущим состоянием. Можно считать, что ее вход в каждом такте имеет одно и то же состояние. Обратно, всякий К. а., имеющий единственное возможное состояние входа, естественно называть автономным, поскольку в этом случае внешняя среда не несет информации, управляющей его поведением.

К числу биологич. систем, моделями к-рых являются К. а., можно отнести нервные сети животных, если сделать ряд предположений об устройстве нервных клеток и о воздействии на них нервных импульсов. Изучение таких идеализиров. сетей (см. *Нервные сети*) имеет значение для нейрофизиологии.

Изучение проблем синтеза К. а. происходит в терминах представимости *событий* (см. также *Представление событий*). Относительно любого состояния y (или состояния выхода z) множество всех конечных входных последовательностей разбивается на 2 подмножества S_1 и S_2: последовательности из подмножества S_1 переводят К. а. в состояние y (или вызывают выход z), последовательности из S_2 переводят К. а. в др. состояния. Тогда говорят, что данный К. а. представляет событие S_1 состоянием y. Задание условий работы для К. а. (см. *Релейного устройства условия работы*) можно понимать как задание события, к-рое должен представлять К. а. Поскольку событие может характеризоваться бесконечным множеством входных последовательностей, то встает вопрос о записи таких множеств с помощью конечных ф-л, т. е. о построении некоторого формального языка, с помощью к-рого это можно сделать. Наиболее удобны для этого язык регулярных событий и логич. исчисление одноместных предикатов с огранич. кванторами. В терминах указ. двух языков решается след. важная проблема: какие условия работы можно реализовать в К. а., т. е. какие события представимы в нем. Оказывается, что все ф-лы этих языков описывают события, представимые в К. а. Имеются методы, позволяющие по любой заданной ф-ле получить К. а., представляющий соответствующее событие (см. *Синтез релейных устройств*). Обратно, любое событие, представимое в К. а., можно описать на этих языках. Однако существуют события, не представимые в К. а. Пусть, напр., на вход подается последовательность 1001000010... (единицы появляются только в тактах, номера к-рых являются квадратами целых чисел) и требуется построить К. а., дающий на выходе 1, пока идет указанная последовательность, и 0 с момента, когда она нарушена. Оказывается, что такой К. а. построить нельзя, т. к. для представления этого события автомат должен «запоминать» сколь угодно большие интервалы между единицами и, следовательно, иметь неограниченно большую (или увеличивающуюся в процессе работы) память.

Под анализом К. а. обычно имеют в виду обратную задачу: по заданной таблице переходов установить, какие события представляет данный автомат. В др. случаях под анализом понимается исследование поведения К. а., представляющего собой «черный ящик» (К. а., таблица переходов к-рого неизвестна). С этой точки зрения К. а. с различными таблицами переходов могут оказаться эквивалентными: на одинаковые входные последовательности два таких К. а. дают одинаковые выходные последовательности и, следовательно, реализуют одни и те же условия работы. Это позволяет решать задачу *минимизации* К. а., к-рая формулируется так: среди эквивалентных К. а. найти К. а. с наименьшим числом состояний. Важное направление в теории К. а.— синтез надежных автоматов из ненадежных компонентов. Реальные элементы, используемые для построения автоматов, имеют положит. вероятность ошибки при каждой операции. Задача состоит в том, чтобы путем рационального синтеза добиться высокой надежности результирующего К. а. Др. направление в теории К. а., привлекающее вероятностные методы,— исследование поведения К. а. в случайных средах. Здесь задача состоит в том, чтобы построить К. а., действующий наиболее целесообразно в заранее определенном смысле, если задана вероятность появления различных входных воздействий.

Лит.: Автоматы. Сб. ст., под ред. К. Э. Шеннона и Дж. Маккарти, пер. с англ., М., 1956; Кибернетический сборник. Сб. переводов, [№] 1, М., 1960; Трахтенброт Б. А., Синтез логических сетей, операторы которых описаны средствами исчисления одноместных предикатов, «ДАН СССР», 1958, т. 118, № 4, с. 646—49; Цетлин М. Л., О непримитивных схемах, в кн.: Проблемы кибернетики, вып. 1, М., 1958; Кобринский Н. Е. и Трахтенброт Б. А., О построении общей теории логических сетей, в кн.: Логические исследования. [Сб. ст.], М., 1959; Шрейдер Ю. А., Задача динамического планирования и автоматы, в кн.: Проблемы кибернетики, вып. 5, М., 1961; «J. Symbolic Logic», 1955, v. 20, № 3, p. 286.

Ю. Т. Медведев.

КОНКРЕТИЗАЦИЯ СТАНДАРТНОЙ ПОДПРОГРАММЫ (standard subroutine individualizing; individualisation d'un sous-programme normalisé; Konkretisierung des standardisierten Unter-Programms) — подготовка СП к работе при конкретном значении параметров и заданном распределении памяти (наз. также *настройкой*). Применяется в различных методах *автоматизации программирования*, связанных с использованием СП, каждая из к-рых оформляется так, чтобы ею можно было воспользоваться во многих программах. В частности, СП можно поместить в любое место ЗУ ЦВМ. Можно менять также адреса ее аргументов, их количество, номера ячеек для хранения промежуточных величин и последовательностей, номера ячеек, в к-рых должен быть получен результат, и т. п. Напр., для СП умножения квадратных матриц ($A \cdot B = C$) кроме местоположения самой программы можно менять номера ячеек, начиная с к-рых располагаются матрицы A, B и C (адреса элементов a_{μ}, b_{μ} и c_{μ}), порядок этих матриц n и т. п. Все эти адреса и число n являются параметрами СП умножения матриц, и перед работой ее необходимо настроить по этим параметрам. Пусть эта СП написана так, что она начинается с ячейки x. В действительности же ее помещают, начиная с ячейки y, причем истинными адресами элементов a_{μ}, b_{μ} и c_{μ} являются α, β и γ. Тогда настройка состоит в том, что все внутр. адреса подпрограммы (т. е. адреса, ссылающиеся на команды и константы этой программы) увеличиваются на $y-x$, на место адресов a_{μ}, b_{μ} и c_{μ} вносятся α, β и γ, на место адреса a_{nn} (если такой имеется) $\alpha+n^2-1$ и т. д. Настройку можно производить как перед началом решения задачи на машине, так и при каждом обращении к данной СП. Обращение к СП имеет место при смене параметров в ходе решения задачи. Возможны случаи, когда по части параметров настройка осуществляется заранее, а по остальным параметрам — при каждом обращении.

Э. З. Любимский.

КОНСЕРВАТИВНАЯ СИСТЕМА (conservative system; système conservatif; konservatives System) — динамич. система, характеризующаяся постоянным во времени энергетич. состоянием (для механич. систем постоянна во времени сумма кинетич. и потенциальной энергии, а для электрических — сумма электрич. и магнитной энергии). Движение сложной К. с. описывается системой ур-ний Лагранжа 2-го рода

$$\frac{d}{dt}\cdot\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}-\frac{\partial L}{\partial q_i}=0,$$

где $i=1,2,\ldots,k$; k — число степеней свободы системы; q_i — обобщенная i-тая координата системы; $\dot{q}_i=\frac{dq_i}{dt}$ — скорость изменения i-той координаты; L — нек-рая однозначная ф-ция координат q_i и их производных $\dot{q}_i$. Ф-ция L представляется в виде разности двух ф-ций

$L=T-V$, где $T=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{k}m_{ij}\dot{q}_i\dot{q}_j$ — однородная квадратичная положительно определ. форма от обобщенных скоростей, в к-рой коэфф. $m_{ij}=m_{ji}$ в общем случае являются ф-циями координат; V — однозначная ф-ция относительно обобщенных координат, имеющая непрерывные частные производные по каждой из координат. Для автономной К. с., на к-рую не действуют внешние силы, зависящие от времени, первый интеграл («интеграл энергии») находится в виде $T+V=h=\text{const}$.

К. с. бывают линейными и нелинейными. Для первых коэфф. m_{ij} ф-ции T не зависят от координат, а ф-ция V представляется в виде положительно определ. квадратичной формы относительно обобщ. координат

$$V=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{k}\sum_{j=1}^{k}k_{ij}q_iq_j,$$

где $k_{ij}=\frac{\partial^2 V}{\partial q_i \partial q_j}$

не зависят от производных координат и вычисляются в положении равновесия. При невыполнении этих условий К. с. будет нелинейной. Система ур-ний Лагранжа для линейной К. с. при подстановке выражений для T и V имеет вид:

$$\sum_j(m_{ij}\ddot{q}_j-k_{ij}q_j)=0,\quad i=1,\ 2,\ \ldots,\ k,$$

$$j=1,\ 2,\ \ldots,\ k.$$

Корни характеристич. определителя этих ур-ний могут быть или чисто мнимыми сопряженными или действительными с разными знаками и одинаковыми по модулю. Система с мнимыми корнями устойчива по Ляпунову. При рассмотрении движения К. с. в фазовом пространстве случаю мнимых корней соответствует устойчивое движение системы по замкнутым траекториям вокруг особой точки типа центра, а случаю действит. корней соответствует неустойчивое движение с особой точкой типа седла.

В механич. системах ф-ции T соответствует кинетич. энергия, а ф-ции V — потенциальная энергия системы. Все связи системы не зависят от времени, и среди них нет неинтегрируемых дифференциальных связей. Силы, действующие на механич. К. с., зависят только от обобщенных координат системы. Диссипативные силы — силы, связанные с рассеянием энергии (силы «вязкого» трения, пропорциональные скорости),— отсутствуют. Простейшим примером механич. линейной автономной одномерной (с одной степенью свободы) К. с. является физ. маятник, колеблющийся в одной плоскости относительно нижнего положения равновесия, когда углы отклонения от положения равновесия малы и можно пренебречь влиянием сил трения о воздух и трения в опорах. Ур-ние движения для этой системы: $\ddot{\alpha}+\omega_0^2\alpha=0$, где α (обобщенная координата) — угол отклонения от положения равновесия, а ω_0 — собств. частота. На фазовой плоскости движение этой К. с. изображается семейством замкнутых траекторий, вложенных друг в друга. Система имеет устойчивую особую точку типа центра. В электрич. системах ф-ции T соответствует энергия магнитного поля, а ф-ции V — энергия электрич. поля. Простейшим примером электрич. линейной одномерной К. с. является колебат. контур. За обобщенную координату в этом случае можно принять заряд конденсатора.

В теории автоматич. регулирования при исследовании реальных объектов можно считать объект консервативным, если его движение в рассматриваемый промежуток времени мало отличается от движения К. с. Характер принимаемой идеализации определяется всей задачей в целом и зависит не только от свойств системы, но и от тех вопросов, к-рыми интересуются при решении задачи.

Лит.: Андронов А. А., Витт А. А. и Хайкин С. Э., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959; Гантмахер Ф. Р., Лекции по аналитической механике, М., 1960.

А. А. Духин.

КОНСТАНТЫ ПРОГРАММЫ (constants of programme; constants de programme; Programm-Konstanten) — заготовленные в программе неизменные в процессе ее выполнения вспомогат. коды. Различают 3 типа К. п.: константы-команды, вспомогат. константы и числовые. Константы 1-го типа — коды команд, используемые, напр., для замены к.-л. команд программы или для *восстановления команд в программах*. Каждая константа 2-го типа — спец. подобранный набор единиц и нулей. К числу вспомогат. констант относятся, напр., константы выделения адресной части или кода операции команды, константы переадресации, используемые, как правило, для изменения адресной части нек-рых команд программы (см. *Переадресация команд*). Числовые константы — коды чисел, используемые, напр., в вычислит. актах программы. К числовым константам относятся коэфф. расчетных ф-л программы, числа, используемые для счетчиков в нек-рых циклах (см. *Циклов счетчики*).

Г. Д. Фролов.

КОНТАКТ электрический (contact; contact; Kontakt) — соединение проводников, позволяющее проводить электрич. ток. Проводники тока, образующие К., наз. контактными телами или К., положительными и отрицательными в зависимости от того, с каким полюсом источника тока они соединены. К. бывают неподвижные и подвижные. Неподвижные К.— разного рода разъемные и неразъемные, предназначены для длит. соединения проводников. Разъемные К. осуществляются зажимами, болтами, винтами и т. п.; неразъемные — пайкой, сваркой или клепкой. Подвижные К. делятся на разрывные (К. реле, кнопок, выключателей, контакторов и т. п.) и скользящие (К. между коллектором и щетками, К. коммутаторов, потенциометров и т. п.).

Простейший вид К.— контактная пара. Сложным видом К. является, напр., К., образующий двойное параллельное замыкание цепи или двойное последоват. замыкание (последний наз. мостиковым). К., переключающий цепь при срабатывании аппарата, наз. переключающим. Переключающий К., разрывающий цепь в момент переключения, наз. перекидным, а не разрывающий цепь в момент переключения — переходным.

В зависимости от формы К. делятся на точечные (острие — плоскость, сфера — плоскость, сфера — сфера), к-рые обычно используются в чувствит. приборах и реле, коммутирующих незначит. нагрузки; линейные — имеют место при соприкосновении контактов в виде цилиндрич. тел и при щеточных К.; плоскостные — в сильноточной коммутац. аппаратуре.

К. крепятся обычно на плоских пружинах, т. н. контактных (из нейзильбера, фосфористых и бериллиевых бронз и, реже, стали), к к-рым предъявляются высокие требования с точки зрения постоянства их механич. качеств в течение всего срока службы аппарата, исчисляемого часто десятками и более млн. циклов. Выполненный в виде отдельного блока набор пружин с К., к-рые переключаются одновременно, образует контактную группу (или пакет).

Соприкосновение К. происходит не по всей поверхности, а лишь в отдельных точках вследствие шероховатостей на поверхности К. при любой точности ее обработки. Линии электрич. тока, проходя от одного К. к другому, стягиваются к этим точкам соприкосновения. Поэтому К. вносит в коммутируемую им цепь нек-рое дополнит. контактное сопротивление $R_к$. Если поверхность К. покрыта пленкой, то $R_к$ увеличивается. Однако очень тонкие пленки (до 50 Å) не оказывают влияния на сопротивление К. вследствие туннельного эффекта. Более толстые пленки могут разрушаться под влиянием контактного усилия или прилож. напряжения. Электрич. пробой пленок на К. наз. фриттингом. Если пленки не разрушены, то $R_к$ в основном определяется сопротивлением пленок. Сразу после зачистки К., а также при достаточных контактном усилии и напряжении в цепи К. его сопротивление определяется гл. обр. сопротивлением областей стягивания.

Зависимость $R_к$ от усилия $P_к$ в диапазоне от 10 *г* до 10 *кг* дается эмпирич. ф-лой, хорошо согласующейся с экспериментом в любом состоянии К. (после зачистки, выдержки в к.-л. среде, работы):

$$R_к=\frac{c\varrho\sqrt{H_Б}}{P_к^b}, \qquad (1)$$

где c — коэфф., зависящий от обработки поверхности К. (при тонкой зачистке $c=1$, при грубой 2, при очень грубой 3); b — коэфф., определяемый усилием, формой и состоянием поверхностей (при нагрузке ниже предела упругости материалов $b=1/3$, выше предела упругости — $1/2$, при наличии изолирующей пленки — 0,7—1); ϱ — уд. сопротивление; $H_Б$ — твердость по Бринеллю.

Если контакты выполнены из разных металлов с ϱ_1 и ϱ_2 и твердостью H_1 и H_2 ($H_1<H_2$), то $\varrho=1/2(\varrho_1+\varrho_2)$, а твердость $H_Б=H_1$ (т. е. твердости более мягкого металла).

$R_к$ изменяется при нагреве: если К. металлический, то с возрастанием тока оно увеличивается; если осн. роль играют пленки, то $R_к$ падает, т. к. пленки чаще всего бывают из ПП с отрицат. температурным коэфф. Если превышение темп-ры контакта — θ, а температурный коэфф. сопротивления — α_ρ, то $R_\theta=R(1+k\alpha_\rho\theta)$, где k — коэфф., вводимый вследствие того, что контактное тело в месте К. нагревается неравномерно. Обычно принимают $k=2/3$. На рис. 1 представлена зависимость сопротивления металлич. К. от темп-ры. До точки A справедлива указанная выше зависимость R от θ. В точке A металл рекристаллизуется, исчезает наклеп, контактная поверхность увеличивается, а сопротивление падает. В точке $Б$ металл плавится с резким увеличением площади соприкосновения и уменьшением контактного сопротивления. Зависимость между темп-рой К. и падением напряжения $U_к$ на нем дается ф-лой:

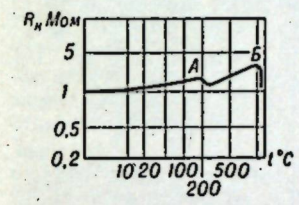


Рис. 1. Зависимость контактного сопротивления от темп-ры у чисто металлич. контакта.

$$\theta=U_к^2/8\varrho\lambda,$$

где λ — коэфф. теплопроводности материала К.

Осн. требование к К.— безотказное их действие в течение заданного числа циклов работы с заданной нагрузкой.

Работа любого К. состоит из 4 этапов — разомкнутое состояние, замыкание, замкнутое состояние и размыкание, каждый из к-рых оказывает влияние на надежность контактирования. В разомкнутом состоянии на К. воздействует внешняя среда и в результате на их поверхности образуются пленки. В замкнутом состоянии, когда К. прижаты друг к другу и через них проходит ток, они разогреваются и деформируются; при нек-рых условиях, если К. перегреются, может наступить сваривание. При замыкании и размыкании К. происходят мостиковые или разрядные явления, сопровождающиеся испарением и переносом металла К., изменяющим его поверхность. Кроме того, возможен механич. износ К. в результате ударов и скольжения друг по другу.

По мере сближения К. на очень малых расстояниях, даже при сравнит. небольших напряжениях источника питания, градиент поля становится настолько большим, что электрич. прочность промежутка нарушается и наступает пробой. Если же на поверхности К. имеются посторонние частицы, в особенности содержащие углерод, то при их соприкосновении происходит испарение и создаются условия для разряда.

Размыкание является обычно самым тяжелым этапом работы К. В зависимости от параметров цепи (R, L и C) и величины прилож. напряжения при размыкании возникают явления, вызывающие износ К. Если напряжение цепи больше напряжения $U_{пл}$, при к-ром металл К. плавится, то, т. к. при расхождении К. уменьшается контактное усилие и, следовательно, площадь соприкосновения, будут расти сопротивление и темп-ра К. Когда темп-ра превысит точку плавления металла К., между контактными поверхностями возникнет расплавленный металлич. мостик, к-рый постепенно растягивается и затем в наиболее горячем месте разрывается. Высокая темп-ра при разрыве мостика облегчает возникновение разряда. Самостоятельно мостик существует только в омич. цепях при напряжениях источника питания ниже напряжения дугообразования. Если же в цепи имеется индуктивность, то вызываемые ею перенапряжения в момент разрыва тока способствуют возникновению при токах ниже токов дугообразования искры, а при токах выше токов дугообразования — дуги. Т. к. индуктивность в цепи имеется почти всегда, то мостики в большинстве случаев сопровождаются разрядом. Миним. напряжение возникновения искры на К. ~270—300 *в*.

Электрич. дуга на К. образуется, если ток и напряжение становятся выше нек-рых определенных для каждого металла значений I_0 и U_0. В зависимости от расстояния между К., скорости размыкания, состояния среды (при данном материале К.) и параметров (E, R, L и C) размыкаемой цепи дуга будет гаснуть с большей или меньшей скоростью.

Мостик и короткая дуга (меньше 10^{-4} *см*) вызывают износ положительного К.; искра и более длинная дуга небольшой мощности — отрицательного. Обычно дуговой и искровой разряды превалируют над мостиковым. На рис. 2 даны области разного износа К., коммутирующих цепи с омич. нагрузками, где $U=\varphi(i)$ — предельная вольтамперная хар-ка К. Она представляет собой зависимость между граничными значениями напряжения и тока в цепи пост. тока, при к-рых между К. может существовать устойчивая дуга. Предельные хар-ки зависят от материала К. и контактного расстояния.

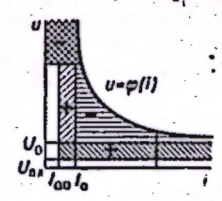


Рис. 2. Области разного износа контактов, коммутирующих цепи пост. тока с омич. нагрузками.

Срок службы К. (т. е. число циклов N его работы), при к-ром обеспечиваются надежное замыкание и размыкание управляемых им цепей, ограничивается допустимым износом К. ΔU. Он может быть приблизительно подсчитан по ф-ле: $N=\Delta U/g$, где g — износ К. при данном цикле работы, $g=g_м+g_{дкр}+g_{ддр}+g_{дкз}$.

Здесь $g_м$ — мостиковый износ; $g_{дкр}$ — износ, вызванный короткой дугой при размыкании; $g_{дпр}$ — износ, вызванный длинной дугой при размыкании; $g_{дкз}$ — износ, вызванный короткой дугой при замыкании. Как при короткой, так и при длинной дуге износ К. можно принять пропорциональным количеству электричества q, протекшего через К. во время дуги: $g_д = \gamma_{к(д)} q$, где $\gamma_к$ и $\gamma_д$ — константы материала, различные для короткой и длинной дуги. Мостиковый износ во время одной операции дается ф-лой $g_м = \alpha I^\beta$, где α и β — константы материала. Значительно увеличивает износ К. их вибрация (дребезг), возникающая от ударов при включении.

Срок службы К. может быть продлен рядом мер. Вибрация К. устраняется спец. конструкцией контактной системы (притиранием К. во время удара или подбором жесткостей контактных пружин). Электрич. износ уменьшается различными способами в зависимости от мощности коммутируемых цепей. В мощных цепях, для к-рых значения напряжений и токов лежат выше предельной хар-ки К., применяют конструктивные меры: К. контакторов, пускателей и др. аппаратов, коммутирующих токи выше 20—25 *а*, снабжают дугогасит. устройствами (см. *Дугогасящая камера*, *Дугогасительная катушка*, *Дутье магнитное*). К., коммутирующие токи до 10—25 *а* при напряжениях свыше 24 *в*, выполняются т. о., что цепь разрывается последовательно в неск. местах, вследствие чего напряжение, приходящееся на один разрыв, уменьшается в неск. раз. В мостиковом К. цепь рвется в двух местах и напряжение, приходящееся на один К., уменьшается примерно вдвое. В цепях слабого тока с индуктивностями для облегчения работы К. при размыкании применяют спец. контуры (см. *Искрогашение*), к-рые подключают параллельно К. или нагрузке. Сами К. часто делают парными, что увеличивает надежность их действия, ибо совпадение отказов двух К. маловероятно.

Материалами для К. служит ряд чистых металлов, сплавов и металлич. композиций, выбор к-рых зависит от назначения К. (неподвижный, разрывный или скользящий), от конструкции аппарата (величины контактного усилия), а также от режима работы и окружающих условий. В табл. 1 приведены рекомендации по применению контактных материалов. Хар-ки наиболее часто используемых материалов даны в табл. 2. Для экономии дорогостоящих материалов применяют биметаллич. К., в к-рых нижний, нерабочий слой выполняется из Ni, Fe, Cu или др. неблагородного металла, а верхний, рабочий слой — из контактного материала. В цепях слабого тока применяются иногда контактные металлы в виде тонких гальванич. покрытий (толщиной 3—5 *мк* и более), непосредственно нанесенные на контактные пружины.

Таблица 1

Аппаратура	Рекомендуемые материалы
Прецизионные приборы	Au, Au — Ni,
Чувствительные реле	Pt, Pt — Ir, Ag — Au
Телефонная и телеграфная аппаратура	Ag, Pd — Ag, Pd, Ag — Ni
Радиоприборы	Электроосажденные: Pt, Pd, Ag, Rh
Сигнальная аппаратура	Ag, Pd — Ag,
Реле автоматики (управления)	Pd — Cu Ag, Pd — Ag, Ag — Ni
Термостаты	Ag, Ag — Ni
Низковольтные выключатели	Ag, Ag — Ni
Вибрац. регуляторы	Ag, W, Pt — Ir
Выключатели средней мощности	Ag — окись Cu Ag, Ag — Pd, Ag — Ni, Ag — Cd, Ag — Cu, Ag — окись Cd
Воздушные автоматич. выключатели	Ag, Ag — Ni, Ag — окись Cd, Ag — W
Масляные автоматич. выключатели	Ag — Ni, Cu — W, Cu
Контакторы пост. тока	Ag, Ag — окись Cd, Ag — окись Cu
Контакторы перем. тока и магнитные пускатели	Ag, Cu, Ag — W, Ag — окись Cu, Ag — Ni, Ag — окись Cd, Ag — W
Стартеры автомобильные	Pt, Ag, Pt — Ir, Pd — Ag,
Ползунки потенциометров	Pd — Ir
Обмотки потенциометров	Нихром, константан, Pt — Ni, Pt — Cu, Pt — Ir, Pd — Ag, Au — Ni

Таблица 2

Наименование металла	Процент содержания второго компонента	$\vartheta_{пл}$ (°С)	λ (*вт/см·град*)	H_B (*кг/мм²*)	$\varrho \cdot 10^{-6}$ (*ом·см*)	$\alpha_\varrho \cdot 10^{-3}$	$U_{пл}$ (*в*)	U_0 (*в*)	I_0 (*а*)	$\gamma_к$	$\gamma_д$
										10^{-3} *мм²/кул*	
Pt	—	1780	0,71	40	10,5	3,9	0,65	17,5	0,9	6	1,2
Au	—	1063	2,97	20	2,21	4,0	0,43	15	0,4	18	—
Ag	—	961	4,18	25	1,6	4,1	0,37	12	0,4	6—18	0,4
W	—	3380	2,00	350	5,2	4,8	1,1	15	1,1	4	0,04
Cu	—	1083	3,95	35	1,67	4,3	0,43	13	0,45	6	0,8
Pd	—	1554	0,71	32	10,8	3,8	0,57	8	0,45	—	—
Rh	—	1966	0,88	55	4,5	4,3	—	13	0,35	—	—
Сплавы											
Pt — Ir	10	1780	0,31	130	24,5	1,3	—	20	1,0	9	1
Pd — Ag	40	1330	0,30	52	42	0,025	—	—	0,5	—	—
Pd — Cu	40	1200	0,38	80	35	0,32	—	14	0,7	—	2
Au — Ni	5	1000	—	100	12,3	0,7	—	15	0,4	—	2
Металлокерамич. композиции											
Ag — окись Cd	15	—	3,26	65	2,7	3,5	—	12	0,8	—	—
Ag — W	50	—	2,8	80	2,8	—	—	16	0,25	—	—
Ag — Ni	40	—	3,2	74	2,7	2,9	—	11	0,15	—	—
Ag — графит	5	—	—	25	3,3	—	—	—	—	—	—

Для увеличения надежности действия К. весь аппарат или его часть, содержащую К., помещают в герметически закрытые баллоны, заполненные к.-л. газом, создающим инертную среду (водородом, азотом и др.), или из к-рых откачан воздух (т. н. вакуумные К.). Последние приводятся в движение либо механически через гофрированную стекл. трубку, связанную с подвижным К., либо с помощью магнитной связи.

Лит.: Холльм Р., Электрические контакты, пер. с англ., М., 1961; Справочник по электротехническим материалам, т. 2, М.— Л., 1960; Сотсков Б. С., Основы расчета и проектирования элементов автоматических и телемеханических устройств, М.— Л., 1953; Усов В. В., Металловедение электрических контактов, М.—Л., 1903.

И. Е. Декабрун.

КОНТАКТ ВЫПРЯМЛЯЮЩИЙ (rectifying contact; contact redresseur; gleichrichtender Kontakt) — контакт двух материалов, сопротивление к-рого изменяется при изменении полярности прилож. напряжения. К. в., обладая высоким сопротивлением в одном направлении и низким в противоположном, преобразовывает перем. ток в однонаправленный. Таким свойством обладают контакты ПП с металлами и ПП с различными типами проводимости. Вольтамперная хар-ка контакта двух областей ПП с различными типами проводимости описывается ф-лой:

$$I = I_s \left(e^{qU/kT} - 1 \right),$$

где I — плотность тока; U — напряжение; I_s — ток насыщения, константа, определяемая свойствами ПП, зависящая от температуры; q — заряд электрона; k — постоянная Больцмана; T — абс. температура (см. также ф-лы в ст. *Контакт полупроводник — металл*).

При увеличении положит. напряжения, наз. прямым, ток через контакт быстро растет. При обратной полярности (запирающее напряжение) ток при малых напряжениях достигает величины, близкой к току насыщения, а при дальнейшем увеличении напряжения почти не изменяется. Отношение прямых токов к обратным у лучших К. в.— электронно-дырочных переходов в Ge и Si, составляет соответственно 10^3—10^4 и 10^5—10^8.

А. Б. Поляков.

КОНТАКТ ИНЖЕКТИРУЮЩИЙ (injection contact; contact d'injection; einspeisender Kontakt) — контакт двух ПП противоположного типа проводимости или металла с ПП, обладающий свойством вводить в объем ПП неосновные носители заряда, при подаче на К. и. напряжения в прямом направлении.

Основной хар-кой К. и. является коэфф. инжекции. Напр., для контакта области ПП p-типа проводимости (область *1*) с областью n-типа (область *2*) коэфф. инжекции дырок $\gamma = I_p/I$, где I_p — ток дырок через контакт, I — общий ток. Плотности токов электронов и дырок, протекающих через контакт двух ПП с противоположным типом проводимости

$$I_n = \frac{qD_{n1} n_i^2}{L_{n1} N_A} \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right),$$

$$I_p = \frac{qD_{p2} n_i^2}{L_{p2} N_D} \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1 \right),$$

где U — приложенное к контакту напряжение (положит. полюсом к области *1*); D_{n1} — коэфф. диффузии электронов в области *1*; L_{n1} — длина диффузии электронов в области *1*; D_{p2} — коэфф. диффузии дырок в области *2*; L_{p2} — длина диффузии дырок в области *2*; N_A — концентрация акцепторов в области *1*; N_D — концентрация доноров в области *2*; n_i — концентрация носителей заряда в собственном ПП; q — заряд электрона; T — абс. темп-ра; k — постоянная Больцмана. Тогда

$$\gamma = \frac{1}{1 + \frac{D_{n1} L_{p2} N_D}{D_{p2} L_{n2} N_A}}.$$

При увеличении тока через К. и. вблизи него повышается концентрация основных носителей заряда, нейтрализующих электрич. заряд неосновных носителей. Эти неравновесные основные носители заряда повышают эффективное значение проводимости в области *2* и увеличивают ток через контакт, снижая эффективность инжекции γ. К. и. образуются путем введения в ПП примесей, создающих доноры в ПП с проводимостью p-типа и акцепторы в ПП с проводимостью n-типа. Напр., К. и. с Ge и Si получаются: при вплавлении или диффузии в них In, Ga, Al, B или сплавов In с Ga и т. п., когда используют ПП n-типа и сплавов Pb—Sb, Pb—As, Sn—P и т. п., в случае ПП p-типа. Для образования К. и. применяются также методы: испарения в вакууме металлов и нанесения их на ПП, электролитич. осаждения металлов на ПП, создания p—n-переходов в процессе вытягивания монокристаллов Si и Ge из расплавов и др.

А. Б. Поляков.

КОНТАКТ ОМИЧЕСКИЙ (resistance contact; contact ohmique; Kontakt reellen Widerstands, ohmscher Kontakt) — контакт двух ПП или металла с ПП, обладающий линейной вольтамперной характеристикой. К К. о. предъявляются требования малого сопротивления и отсутствия инжекции неосновных носителей заряда в объем ПП. Первое требование удовлетворяется при отсутствии вблизи К. о. высокоомных слоев и в большинстве случаев выполняется. Второе требование соответствует равенству нулю концентрации неосновных носителей заряда (ННЗ) в непосредств. близости от К. о. и на практике не выполняется. Более близким к реальному является случай слабой инжекции К. о. Если коэфф. инжекции γ (см. *Контакт инжектирующий*) К. о. в точности равен отношению равновесных при данной темп-ре концентраций неосновных и основных носителей заряда (ОНЗ) в ПП (напр., для ПП с проводимостью n-типа $\gamma = \frac{p_0}{n_0}$), то вблизи контакта всегда поддерживается равновесная концентрация ННЗ. Этому соответствует условие бесконечной скорости рекомбинации в тонком слое ПП вблизи К. о.

Если коэфф. инжекции К. о. больше, чем отношение концентраций ННЗ к ОНЗ, то в объеме ПП вблизи К. о. появляется избыточная концентрация ННЗ.

Для уменьшения инжекции создаются контакты типа n^*n или p^*p, т. е. область ПП, прилегающая к металлич. внешнему контакту, сильно легируется соответствующей примесью. При этом коэфф. инжекции контакта падает, т. к. концентрация ННЗ в сильно легированной области ПП мала. Для уменьшения инжекции К. о. иногда принимаются меры к понижению диффузионной длины ННЗ вблизи контакта введением в ПП примеси, создающей центры рекомбинации (Cu, Au).

Наиболее распространенным способом образования К. о. является приплавление к ПП материалу металла, предварительно легированного элементами III или V групп. Для образования К. о. с Ge или Si с проводимостью n-типа применяются Sn, сплав Sn с Sb, сплав Au с Sb или As. В качестве К. о. к ПП с проводимостью p-типа используются In, Al, сплавы Pb с In, Pb с Ga, Sn с In, Au с Ga. При использовании электросварки и термокомпрессии для образования К. о. применяется золотая проволока, присоединяемая непосредственно к сильно легированной области ПП.

При исследовании свойств ПП и при изготовлении ПП приборов К. о. образуются путем нанесения на поверхность ПП тонких пленок металлов — Cu, Au, Rb — испарением в вакууме или электролитически. К металлу или сплаву, образующему К. о. при изготовлении ПП приборов, часто предъявляются конструктивные и технологич. требования: пластичность металла или сплава, механич. прочность соединения, определенная темп-ра плавления или темп-ра образования эвтектики системы металл — ПП, иногда — равенство коэфф. теплового расширения металла и ПП, хорошая электро- и теплопроводность. *А. В. Поляков.*

КОНТАКТ ПОЛУПРОВОДНИК — МЕТАЛЛ (semiconductor — metal contact; contact entre semi-conducteur et métal; Kontakt Halbleiter — Metall) — контакт двух тел, в котором

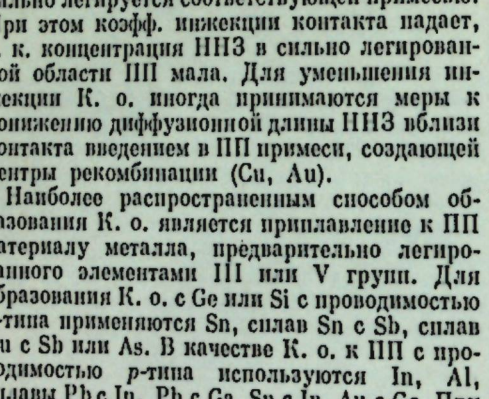


Диаграмма контакта полупроводник — металл.

вследствие разности работ выхода возникает потенциальный барьер. В металле в силу высокой концентрации носителей заряда контактное поле сосредоточено в поверхностном слое толщиной порядка 10^{-8} *см*. В ПП она на неск. порядков ниже и контактные поля проникают в объем, создавая область пространств. заряда. Энергетич. диаграмма К. п.— м. приведена на рис. Работа выхода из ПП меньше работы выхода из металла. Часть электронов ушла из приконтактного слоя ПП в металл. Контактное поле направлено от ПП к металлу. Общая энергия электрона в ПП равна сумме энергии электрона в кристаллич. решетке и в контактном поле, т. е. электрон на границе ПП и металла обладает большей энергией по сравнению с электронами в объеме ПП. Энергетич. зоны в приконтактной области изгибаются вверх. Приконтактный слой ПП обеднен основными носителями — электронами. Его наз. запирающим слоем, т. к. он препятствует переходу носителей из областей с большей концентрацией в области с меньшей концентрацией. Для ПП с дырочной проводимостью запирающий слой образуется, если работа выхода из ПП больше работы выхода из металла. Когда в контакте находится электронный ПП и металл, причем работа выхода из ПП больше работы выхода из металла, в ПП создается слой с повышенной концентрацией электронов. Такой слой обладает меньшим удельным сопротивлением по сравнению с объемом и наз. антизапорным. Последний также образуется при контакте дырочного ПП и металла, когда работа выхода из металла больше работы выхода из ПП. Если к К. п.—м. приложено внешнее напряжение, то в случае антизапорного слоя оно падает равномерно по всей длине ПП, и изменение потенциального барьера в антизапорном слое незначительно. В случае же запирающего слоя практически все внешнее напряжение падает на нем, увеличивая высоту барьера. Если внешнее поле совпадает по направлению с контактным полем, то высота барьера растет, запирающий слой расширяется. Это направление наз. запирающим или обратным. Если внешнее поле направлено навстречу контактному полю, то высота потенциального барьера уменьшается, слой сужается. Это направление наз. пропускным, или прямым. Для электронного ПП прямое направление соответствует приложению к нему отрицат. полюса источника, а для дырочного — положительного.

Вольтамперная хар-ка К. п.— м. с запирающим слоем зависит от механизма прохождения носителей через этот слой. Для слоя, толщина к-рого много больше длины свободного пробега носителей, справедлива диффузионная теория. Движение носителей через такой слой описывается ур-нием диффузии. Вольтамперная хар-ка с учетом движения только основных носителей имеет вид:

$$j = q\mu n_1 E_1 \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1\right),$$

где j — плотность тока, q — заряд электрона, μ — подвижность основных носителей, n_1 — концентрация основных носителей на границе ПП и металла (она считается постоянной), E_1 — напряженность поля у границы, U — прилож. напряжение, k — постоянная Больцмана, T — абс. темп-ра.

Для слоя, толщина к-рого сравнима с длиной свободного пробега носителей, справедлива диодная теория. Здесь носители проходят запирающий слой без рассеяния, т. е. электроны, имеющие кинетич. энергию, превышающую высоту барьера, могут выйти из ПП. Вольтамперная хар-ка имеет вид:

$$j = \frac{1}{\sqrt{6\pi}}\, n_1 \bar{v} \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1\right),$$

где $\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m^*}}$ — средняя тепловая скорость носителей, m^* — их эффективная масса. При очень тонком запирающем слое (порядка 10^{-7}*см*), что имеет место в сильно легированном ПП, возможен переход носителей посредством туннельного эффекта.

Запирающий слой К. п.— м. обладает выпрямляющими свойствами (см. *Контакт выпрямляющий*). Он также может использоваться и для инжекции неосновных носителей. Однако коэфф. инжекции γ невелик.

В технологии ПП приборов возникает необходимость получения омич. контакта ПП и металла. Для этой цели подходят антизапорные слои. В др. случаях для нейтрализации инжекции из контакта приконтактный слой обрабатывают так, чтобы уменьшить в нем время жизни неосновных носителей, либо создают слой с избыточной концентрацией примеси того же типа, что и в объеме ПП (см. *Контакт полупроводник — полупроводник*).

Лит.: Губанов А. И., Теория выпрямляющего действия полупроводников, М., 1956; Spenke E., Elektronische Halbleiter, B., 1956.

Э. И. Вологдин.

КОНТАКТ ПОЛУПРОВОДНИК — ПОЛУПРОВОДНИК (semiconductor — semiconductor contact; contact entre deux semi-conducteurs; Kontakt Halbleiter — Halbleiter) — контакт двух различных ПП с проводимостью одного типа, электронно-дырочный переход, переходы типа p^+ — p и n^+ — n. При контакте двух ПП с проводимостью одного типа, но с различными работами выхода между ними возникает потенциальный барьер. При переходе носителей заряда из одного ПП в другой в одном из них образуется запирающий слой. В электронном ПП запирающий слой возникает в материале с меньшей работой выхода, в дырочном — наоборот. Внешнее напряжение, приложенное к такому контакту, почти все падает на запирающем слое. Контакты различных ПП как выпрямители работают плохо. Прямые токи у них малы из-за трудности преодоления носителями заряда барьера, образующегося благодаря различию в ширине запрещенной зоны (рис. 1).

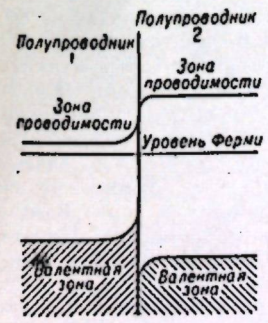


Рис. 1.



Рис. 2.

Рис. 1. Контакт ПП одного типа проводимости с разными работами выхода.

Рис. 2. Контакт металла с ПП различной концентрации примесей.

Электронно-дырочный переход является основным элементом почти всех ПП приборов, основанных на выпрямлении перем. сигналов и инжекции неосновных носителей. В переходах p^+ — p или n^+ — n материал ПП имеет разную концентрацию примесей. В переходной области также образуется потенциальный барьер, препятствующий переходу носителей из областей с большей концентрацией в области с меньшей концентрацией. Для выпрямления такие переходы непригодны. Они применяются при создании омич. контактов на ПП. Известно, что запирающие слои *контакта полупроводник — металл* могут инжектировать неосновные носители; причем в первом приближении коэфф. инжекции

$$\gamma \approx e^{\frac{\Phi - \psi}{kT}},$$

где Φ и ψ — энергетич. уровни (рис. 2). Инжекция в омич. контакте нежелательна, поэтому в приконтактной области создают слой с повышенной концентрацией примеси того же типа проводимости, что и в объеме ПП. Энергетич. зоны в этой области опускаются вниз, т. е. ψ растет, а γ падает. Здесь создаются два потенциальных барьера. Барьер металл—ПП при высокой концентрации примеси в ПП носители могут проходить посредством туннельного эффекта. Второй барьер есть переход типа n^+—n. Он является антизапорным слоем и не может инжектировать неосновные носители.

Лит. см. при ст. *Запирающий слой.*

Э. И. Вологдин.

КОНТАКТОР (contactor; contacteur; Schütz) — электрический аппарат для коммутации силовых электрич. цепей низкого напряжения. Различают К. пост. и перем. тока. Среди последних выделяют К. пром. частоты и высокочастотные К. Осн. элементы К.: гл. контакты, дугогасит. устройство, блок-контакты и привод. При подаче питания на привод происходит срабатывание К., приводящее к замыканию нормально-открытых (НО) и к размыканию нормально-закрытых (НЗ) контактов. При отпускании К., к-рое наблюдается при снятии питания, происходит размыкание НО и замыкание НЗ контактов. Гл. контакты коммутируют ток силовой цепи.

К. выпускаются для коммутации токов до 600 *а*. К. пост. тока чаще всего имеют одну, а К. перем. тока — три пары гл. контактов. Материалом для них служат Cu, Ag и их сплавы, а также композиции из хорошо проводящего металла (Cu, Ag) и несплавляемого с ним тугоплавкого материала (окись кадмия, Ni, W и др.).

Для локализации дуги, возникающей между контактами при отключении тока, а также для уменьшения времени горения дуги в К. применяются дугогасит. устройства в виде закрытых камер, камер с узкой щелью между поверхностями изоляц. материала и камер с решеткой из металлич. пластин (см. *Дугогасящая камера*). В ряде конструкций для увеличения скорости движения дуги в межконтактном пространстве применяют *дутье магнитное*, создаваемое за счет электродинамич. сил взаимодействия дуги с магнитным полем *дугогасительной катушки*, к-рая включается последовательно в цепь контактов.

Наиболее распространен в К. электромагнитный привод. В спец. случаях применяется пневматич. привод. Независимо от рода тока гл. контактов электромагнитный привод может выполняться как на постоянном, так и на перем. токе. В К. пост. тока он бывает чаще всего на пост. токе, а в К. перем. тока — как на пост., так и на перем. токе. Магнитопровод электромагнитного привода перем. тока изготовляется шихтованным и для предотвраще-

Если коэфф. инжекции К. о. больше, чем отношение концентраций ННЗ к ОНЗ, то в объеме ПП вблизи К. о. появляется избыточная концентрация ННЗ.

Для уменьшения инжекции создаются контакты типа n^*n или p^*p, т. е. область ПП, прилегающая к металлич. внешнему контакту, сильно легируется соответствующей примесью. При этом коэфф. инжекции контакта падает, т. к. концентрация ННЗ в сильно легированной области ПП мала. Для уменьшения инжекции К. о. иногда принимаются меры к понижению диффузионной длины ННЗ вблизи контакта введением в ПП примеси, создающей центры рекомбинации (Cu, Au).

Наиболее распространенным способом образования К. о. является приплавление к ПП материалу металла, предварительно легированного элементами III или V групп. Для образования К. о. с Ge или Si с проводимостью n-типа применяются Sn, сплав Sn с Sb, сплав Au с Sb или As. В качестве К. о. к ПП с проводимостью p-типа используются In, Al, сплавы Pb с In, Pb с Ga, Sn с In, Au с Ga. При использовании электросварки и термокомпрессии для образования К. о. применяется золотая проволока, присоединяемая непосредственно к сильно легированной области ПП.

При исследовании свойств ПП и при изготовлении ПП приборов К. о. образуются путем нанесения на поверхность ПП тонких пленок металлов — Cu, Au, Rb — испарением в вакууме или электролитически. К металлу или сплаву, образующему К. о. при изготовлении ПП приборов, часто предъявляются конструктивные и технологич. требования: пластичность металла или сплава, механич. прочность соединения, определенная темп-ра плавления или темп-ра образования эвтектики системы металл — ПП, иногда — равенство коэфф. теплового расширения металла и ПП, хорошая электро- и теплопроводность. *А. Б. Полянов.*

КОНТАКТ ПОЛУПРОВОДНИК — МЕТАЛЛ (semiconductor — metal contact; contact entre semi-conducteur et métal; Kontakt Halbleiter — Metall) — контакт двух тел, в котором

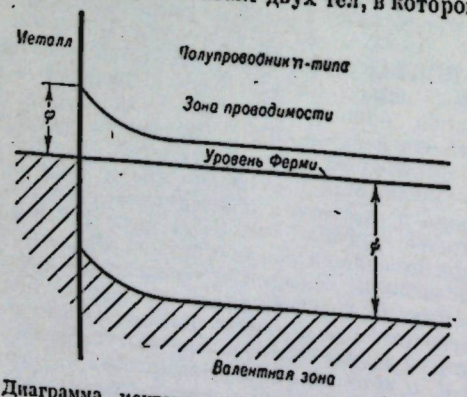


Диаграмма контакта полупроводник — металл.

вследствие разности работ выхода возникает потенциальный барьер. В металле в силу высокой концентрации носителей заряда контактное поле сосредоточено в поверхностном слое толщиной порядка 10^{-8} *см*. В ПП она на неск. порядков ниже и контактные поля проникают в объем, создавая область пространств. заряда. Энергетич. диаграмма К. п.— м. приведена на рис. Работа выхода из ПП меньше работы выхода из металла. Часть электронов ушла из приконтактного слоя ПП в металл. Контактное поле направлено от ПП к металлу. Общая энергия электрона в ПП равна сумме энергии электрона в кристаллич. решетке и в контактном поле, т. е. электрон на границе ПП и металла обладает большей энергией по сравнению с электронами в объеме ПП. Энергетич. зоны в приконтактной области изгибаются вверх. Приконтактный слой ПП обеднен основными носителями — электронами. Его наз. запирающим слоем, т. к. он препятствует переходу носителей из областей с большей концентрацией в области с меньшей концентрацией. Для ПП с дырочной проводимостью запирающий слой образуется, если работа выхода из ПП больше работы выхода из металла. Когда в контакте находятся электронный ПП и металл, причем работа выхода из ПП больше работы выхода из металла, в ПП создается слой с повышенной концентрацией электронов. Такой слой обладает меньшим удельным сопротивлением по сравнению с объемом и наз. антизапорным. Последний также образуется при контакте дырочного ПП и металла, когда работа выхода из металла больше работы выхода из ПП. Если к К. п.—м. приложено внешнее напряжение, то в случае антизапорного слоя оно падает равномерно по всей длине ПП, и изменение потенциального барьера в антизапорном слое незначительно. В случае же запирающего слоя практически все внешнее напряжение падает на нем, увеличивая высоту барьера. Если внешнее поле совпадает по направлению с контактным полем, то высота барьера растет, запирающий слой расширяется. Это направление наз. запирающим или обратным. Если внешнее поле направлено навстречу контактному полю, то высота потенциального барьера уменьшается, слой сужается. Это направление наз. пропускным, или прямым. Для электронного ПП прямое направление соответствует приложению к нему отрицат. полюса источника, а для дырочного — положительного.

Вольтамперная хар-ка К. п.— м. с запирающим слоем зависит от механизма прохождения носителей через этот слой. Для слоя, толщина к-рого много больше длины свободного пробега носителей, справедлива диффузионная теория. Движение носителей через такой слой описывается ур-нием диффузии. Вольтамперная хар-ка с учетом движения только основных носителей имеет вид:

$$j = q\mu n_1 E_1 \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1\right),$$

где j — плотность тока, q — заряд электрона, μ — подвижность основных носителей, n_1 — концентрация основных носителей на границе ПП и металла (она считается постоянной), E_1 — напряженность поля у границы, U — прилож. напряжение, k — постоянная Больцмана, T — абс. темп-ра.

Для слоя, толщина к-рого сравнима с длиной свободного пробега носителей, справедлива диодная теория. Здесь носители проходят запирающий слой без рассеяния, т. е. электроны, имеющие кинетич. энергию, превышающую высоту барьера, могут выйти из ПП. Вольтамперная хар-ка имеет вид:

$$j = \frac{1}{\sqrt{6\pi}}\, n_1 \bar{v} \left(e^{\frac{qU}{kT}} - 1\right),$$

где $\bar{v} = \sqrt{\frac{3kT}{m^*}}$ — средняя тепловая скорость носителей, m^* — их эффективная масса. При очень тонком запирающем слое (порядка 10^{-7} *см*), что имеет место в сильно легированном ПП, возможен переход носителей посредством туннельного эффекта.

Запирающий слой К. п.— м. обладает выпрямляющими свойствами (см. *Контакт выпрямляющий*). Он также может использоваться и для инжекции неосновных носителей. Однако коэфф. инжекции γ невелик.

В технологии ПП приборов возникает необходимость получения омич. контакта ПП и металла. Для этой цели подходят антизапорные слои. В др. случаях для нейтрализации инжекции из контакта приконтактный слой обрабатывают так, чтобы уменьшить в нем время жизни неосновных носителей, либо создают слой с избыточной концентрацией примеси того же типа, что и в объеме ПП (см. *Контакт полупроводник — полупроводник*).

Лит.: Губанов А. И., Теория выпрямляющего действия полупроводников, М., 1956; Spenke E., Elektronische Halbleiter, B., 1956.

Э. Н. Вологдин.

КОНТАКТ ПОЛУПРОВОДНИК — ПОЛУПРОВОДНИК (semiconductor — semiconductor contact; contact entre deux semi-conducteurs; Kontakt Halbleiter — Halbleiter) — контакт двух различных ПП с проводимостью одного типа, электронно-дырочный переход, переходы типа $p^+ — p$ и $n^+ — n$. При контакте двух ПП с проводимостью одного типа, но с различными работами выхода между ними возникает потенциальный барьер. При переходе носителей заряда из одного ПП в другой в одном из них образуется запирающий слой. В электронном ПП запирающий слой возникает в материале с меньшей работой выхода, в дырочном — наоборот. Внешнее напряжение, приложенное к такому контакту, почти все падает на запирающем слое. Контакты различных ПП как выпрямители работают плохо. Прямые токи у них малы из-за трудности преодоления носителями заряда барьера, образующегося благодаря различию в ширине запрещенной зоны (рис. 1).

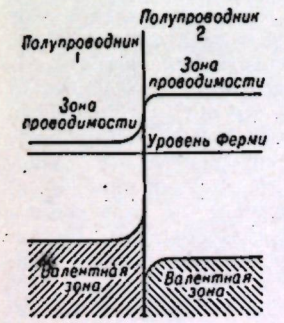


Рис. 1.

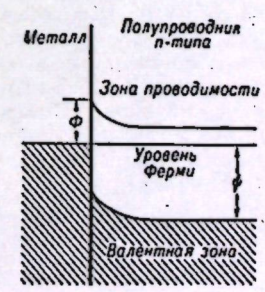


Рис. 2.

Рис. 1. Контакт ПП одного типа проводимости с разными работами выхода.

Рис. 2. Контакт металла с ПП различной концентрации примесей.

Электронно-дырочный переход является основным элементом почти всех ПП приборов, основанных на выпрямлении перем. сигналов и инжекции неосновных носителей. В переходах $p^+ — p$ или $n^+ — n$ материал ПП имеет разную концентрацию примесей. В переходной области также образуется потенциальный барьер, препятствующий переходу носителей из областей с большей концентрацией в области с меньшей концентрацией. Для выпрямления такие переходы непригодны. Они применяются при создании омич. контактов на ПП. Известно, что запирающие слои *контакта полупроводник — металл* могут инжектировать неосновные носители; причем в первом приближении коэфф. инжекции

$$\gamma \approx e^{\frac{\Phi - \psi}{kT}},$$

где Φ и ψ — энергетич. уровни (рис. 2). Инжекция в омич. контакте нежелательна, поэтому в приконтактной области создают слой с повышенной концентрацией примеси того же типа проводимости, что и в объеме ПП. Энергетич. зоны в этой области опускаются вниз, т. е. ψ растет, а γ падает. Здесь создаются два потенциальных барьера. Барьер металл—ПП при высокой концентрации примеси в ПП носители могут проходить посредством туннельного эффекта. Второй барьер есть переход типа $n^+ — n$. Он является антизапорным слоем и не может инжектировать неосновные носители.

Лит. см. при ст. *Запирающий слой.*

Э. Н. Вологдин.

КОНТАКТОР (contactor; contacteur; Schütz) — электрический аппарат для коммутации силовых электрич. цепей низкого напряжения. Различают К. пост. и перем. тока. Среди последних выделяют К. пром. частоты и высокочастотные К. Осн. элементы К.: гл. контакты, дугогасит. устройство, блок-контакты и привод. При подаче питания на привод происходит срабатывание К., приводящее к замыканию нормально-открытых (НО) и к размыканию нормально-закрытых (НЗ) контактов. При отпускании К., к-рое наблюдается при снятии питания, происходит размыкание НО и замыкание НЗ контактов. Гл. контакты коммутируют ток силовой цепи.

К. выпускаются для коммутации токов до 600 *а*. К. пост. тока чаще всего имеют одну, а К. перем. тока — три пары гл. контактов. Материалом для них служат Cu, Ag и их сплавы, а также композиции из хорошо проводящего металла (Cu, Ag) и несплавляемого с ним тугоплавкого материала (окись кадмия, Ni, W и др.).

Для локализации дуги, возникающей между контактами при отключении тока, а также для уменьшения времени горения дуги в К. применяются дугогасит. устройства в виде закрытых камер, камер с узкой щелью между поверхностями изоляц. материала и камер с решеткой из металлич. пластин (см. *Дугогасящая камера*). В ряде конструкций для увеличения скорости движения дуги в межконтактном пространстве применяют *дутье магнитное*, создаваемое за счет электродинамич. сил взаимодействия дуги с магнитным полем *дугогасительной катушки*, к-рая включается последовательно в цепь контактов.

Наиболее распространен в К. электромагнитный привод. В спец. случаях применяется пневматич. привод. Независимо от рода тока гл. контактов электромагнитный привод может выполняться как на постоянном, так и на перем. токе. В К. пост. тока он бывает чаще всего на пост. токе, а в К. перем. тока — как на пост., так и на перем. токе. Магнитопровод электромагнитного привода перем. тока изготовляется шихтованным и для предотвраще-

ния вибраций в притянутом состоянии снабжается кз витком, охватывающим часть сердечника. Магнитопровод электромагнитного привода пост. тока выполняется, как правило, сплошным и для предотвращения прилипания якоря снабжается немагнитной прокладкой в воздушном зазоре. Применяются электромагниты как с поступательным, так и с поворотным движением якоря. Потребляемая катушкой электромагнита мощность — обычно неск. десятков *вт* (или *ва* для катушек перем. тока).

Для К. нормируется износоустойчивость, определяемая допустимым числом включений и выключений без тока в цепи гл. контактов, обычно (0,3—5)·10⁶ циклов. Для К., работающих в *повторно-кратковременном режиме*, указывается число включений в час (обычно 120, 600 или 1200) и продолжительность включения (обычно 40%). *Е. Л. Львов.*

КОНТИНУАЛЬНЫЕ МОДЕЛИ управляющих систем (control system continuous simulators; simulateurs continus de systèmes de commande; kontinuierliche Steuersystem-Modelle) — модели управляющих систем, представляющих собой сплошную непрерывную среду. Этим К. м. отличаются от дискретных моделей, в к-рых управляющие системы представлены множеством отдельных элементов и сложной системой связей между ними. Попытки построить сколько-нибудь сложные дискретные модели управляющих систем встречают значит. трудности, связанные с необходимостью рассматривать ф-ции очень большого числа аргументов.

К. м. позволяют рассматривать св-ва сложных управляющих систем средствами математич. анализа, используя такие естественные и важные понятия, как непрерывность ф-ций и т. п. При этом соответствующая среда может описываться феноменологически, с использованием тех или иных предположений о ее св-вах. Заметим, что в ряде реальных управляющих систем выделение отдельных элементов и связей между ними в ряде случаев является гораздо более трудной задачей, чем описание самой системы.

К. м. управляющих систем особенно эффективны в тех случаях, когда большое число элементов и важность работы в непрерывной шкале времени делают невозможным либо нецелесообразным построение дискретных моделей типа логич. сетей. Первые попытки построения и использования К. м. управляющих систем связаны с изучением работы возбудимых тканей, таких как нервная ткань или ткань сердечной мышцы. С др. стороны, к близким идеям привели нек-рые попытки увеличения надежности вычислит. устройств (см. *Нейристор*).

Рассмотрим пример континуальной управляющей системы. Пусть имеется непрерывная среда со след. св-вами: 1) каждая точка среды может быть возбуждена и возбуждение предполагается мгновенным. После возбуждения точка нек-рое время R не может быть возбуждена повторно. Величина R наз. периодом рефрактерности; 2) возбуждение может распространяться в среде. Скорость проведения возбуждения определяется временем, прошедшим с момента предыдущего возбуждения; 3) среда обладает спонтанной активностью, т. е. каждая ее точка через время T после последнего возбуждения вновь возбуждается спонтанно (если, конечно, она не возбудилась ранее под воздействием соседних). Величина T наз. периодом спонтанной активности. Процесс распространения возбуждения в описанной среде обладает рядом интересных св-в и в т. ч. автосинхронизацией. Так, напр., при периодич. возбуждении (с периодом, меньшим, чем T) отрезка описываемой среды скорость проведения в пределе стремится к константе независимо от предыстории процесса. При распространении группы импульсов по отрезку среды, замкнутому в кольцо, устанавливается стационарный режим, при к-ром импульсы возбуждения проходят любую фиксиров. точку кольца через равные интервалы времени, независимо от того, как эти импульсы были расставлены во времени в нач. момент. Предполагая, что среда однородна, а скорость проведения постоянна, можно показать, что описанная здесь среда может служить в качестве устройства памяти — каждая ее точка является счетчиком числа элементарных возбуждений. Такая система памяти обладает высокой надежностью работы, недостижимой для дискретных моделей.

Лит.: Гельфанд И. М., Цетлин М. Л., О континуальных моделях управляющих систем, «ДАН СССР», 1960, т. 131, № 6; Балаховский И. С., О возможности моделирования простейших актов поведения дискретными однородными средами, в сб.: Проблемы кибернетики, вып. 5, М., 1961; Wiener N., Rosenblueth A., Mathematical formulation of problem of conduction of impulses in network of connected excitable elements, specifically in cardial muscle, «Arch. Inst. Cardiol. Mexico», 1946, v. 16, p. 205. *М. Л. Цетлин.*

КОНТРОЛИРУЕМАЯ ВЕЛИЧИНА (checked variable; grandeur contrôlée; zu kontrollierende Größe) — величина, несущая информацию о событии, подлежащем контролю. Для сложных технологических объектов с большим количеством К. в. целесообразно по отношению к контролируемому объекту разделять К. в. на входные, выходные и режимные. Такое разделение облегчает выбор необходимого числа К. в., места расположения датчиков, способов контроля величин и т. д. Входные К. в. характеризуют входные энергетич. и материальные потоки; обычно ими определяются регулирующие воздействия и внешние возмущения, действующие на объект. Выходные К. в. характеризуют выходные материальные и энергетич. потоки, следующие из контролируемого объекта. К выходным К. в. относятся качеств. показатели этих потоков (состав, различные свойства и др.) и технико-экономич. показатели работы того или иного технологич. агрегата (производительность, кпд и др.). Режимные К. в. характеризуют правильность протекания процесса в контролируемом объекте. Обычно такими К. в. являются темп-ра, расход, давление и др.

Обычно выделяют группы аварийных и учетных К. в. В них входят отдельные К. в. из числа входных, режимных и выходных. Учетные К. в. используются для проведения технико-экономич. расчетов и находят применение уже при управлении произ-вом в объеме целого производственного комплекса (цеха, завода, экономич. района и т. д.). К. в. разделяются и по ряду др. признаков, напр. по характеру определения, на измеряемые непосредственно и определяемые или вычисляемые косвенно. При контроле сложных технологич. объектов целесообразно разделять К. в. по характеру переработки и представления информации на измеряемые и сигнальные. При контроле измеряемых К. в. необходимо с определ. точностью знать все возможные значения К. в. в данном диапазоне значений, а при контроле сигнальных — необходимо знание лишь того, что К. в. удовлетворяет определ. логич. соотношениям (напр., лежит выше, ниже или в пределах заданных значений). *Е. Е. Дудников.*

КОНТРОЛИРУЮЩАЯ ПОДПРОГРАММА (checking subroutine; sous-programme de contrôle; kontrollierendes Unter-Programm) — программа, предназнач. для определения неисправности в ЦВМ. К. п. вместе с диагностич. подпрограммами составляют *испытательные программы.* *Г. А. Миронов.*

КОНТРОЛЛЕР [controller; combinateur; Laststufenschalter (in der Starkstromtechnik), Kontrolleinrichtung (in der Automatisierungstechnik)], командоконтроллер,— аппарат управления, предназнач. для пуска, останова, регулирования скорости вращения и реверсирования электродвигателей. Контакты К. включаются непосредственно в цепи питания электродвигателей с напряжением не свыше 600 *в*. По устройству контактных частей различают К. со скользящими контактами и кулачкового типа. К. со скользящими контактами в свою очередь разделяются на барабанные и плоские (последние применяются редко). Вал К. может поворачиваться вручную или от приводимого в движение механизма или от отдельного электродвигателя. Неподвижные контакты (пальцы) располагаются в корпусе К. вокруг вала с контактами и изолированы от него. К. изготовляются только в защищенном исполнении. Для фиксации коммутац. положений служат храповые рычажно-пружинные механизмы.

Заданная программа переключений К. осуществляется соответствующей расстановкой подвижных контактов (сегментов). Для улучшения условий коммутации К. пост. тока снабжаются магнитным гашением. Количество коммутац. положений К. обычно от 1 до 8 (иногда до 12—20); величина коммутируемого тока не превышает 200 *а*. К. могут работать в *повторно-кратковременном режиме* с относит. продолжительностью включения (25—60%) или в продолжит. режиме. Допустимая частота включений К. барабанного типа не превышает 300, а кулачкового типа — до 600 включений в час. Наибольшее распространение получили К. в электроприводе подъемно-транспортных машин и механизмов. *Э. Б. Рогачев.*

КОНТРОЛЬ АВТОМАТИЧЕСКИЙ (automatic check, automatic testing; contrôle automatique, contrôle industriel; automatische Kontrolle, selbsttätige Kontrolle) — автоматич. получение и обработка информации о состоянии объекта и внешних условиях, с целью обнаружения событий, определяющих управляющие воздействия. Событием может быть любой качественный результат процесса, эксперимента и др., напр. появление детали с размерами, выходящими за пределы допуска, короткое замыкание на шинах генератора, выход темп-ры за установленное значение, авария технологич. оборудования и др. К. а.— важнейшая часть автоматич. управления, т. к. для успешного ведения процесса необходимо иметь информацию о его протекании и об отклонениях от желат. хода с тем, чтобы своевременно оказывать воздействие на процесс в требуемом направлении. Управление любым объектом, процессом всегда ведется в соответствии с алгоритмом управления, т. е. с совокупностью предписаний, правил, определяющих характер воздействий на объект, к-рые можно представить в виде логич. соотношений типа: «если произошло событие A, то произвести операцию B», напр., «если уровень жидкости в резервуаре превысил допустимую величину (...), то прекратить подачу жидкости». Задача контроля и состоит в обнаружении событий, определяющих, в соответствии с алгоритмом управления, воздействия на объект управления. Эти события, в отличие от всех др. событий, к-рые могут иметь место в объекте, но при своем появлении не требуют вмешательства извне, наз. контролируемыми событиями. В случае К. а. контролируемые события обнаруживаются без непосредств. участия или при частичном участии человека.

Процесс К. а. состоит из двух основных этапов: 1) восприятие информации о состоянии объекта и внешних условиях и преобразование ее к виду, удобному для последующей обработки; 2) обнаружение в поступающей информации признаков контролируемого события (т. е. тех специфич. особенностей, к-рые отличают данное событие от всех др.) и формирование сигнала о наступлении этого события. Восприятие, т. е. процесс ввода информации в устройство, осуществляющее К. а., выполняется первичными преобразователями — *датчиками.* Воспринимаемой информацией обычно являются сведения о значениях и изменении во времени и в пространстве различных физич. величин, а также инструкции, определяющие алгоритм переработки информации. Характер промежуточных преобразований сигналов, сформированных датчиками, зависит от многих факторов, напр. от характера признаков контролируемых событий, формы организации контроля, типа используемых датчиков, аппаратуры последующей обработки и др. К промежуточным преобразованиям относятся усиление сигналов, преобразование рода энергии, детектирование и модуляция, квантование по времени, кодирование и декодирование информации, связанные с необходимостью передачи на расстояние, и др. Большое значение при К. а. имеет измерит. преобразование (измерение, т. е. представление воспринимаемой физич. величины в виде числового значения, указывающего отношение этой величины к др. величине, принятой за единицу измерения). Такое преобразование необходимо тогда, когда отклонения контролируемых величин за пределы допусков обнаруживает человек. В этих случаях для объективности контроля допуски задаются в числовом виде в общепринятых единицах. Измерит. преобразование необходимо и тогда, когда выполнение ряда операций, составляющих процесс К. а. (вычисление, обнаружение признаков и их сопоставление с целью обнаружения контролируемых событий), возлагают на цифровую вычислит. машину. Однако измерит. преобразование в принципе не обязательно при К. а.; оно, напр., отсутствует в обычных сигнализаторах, к-рые автоматически выявляют простейшие события (выход значения величины за установленные пределы). При К. а. процесс измерения является лишь частью процесса промежуточного преобразования информации. Во многих случаях в процессе промежуточного преобразования

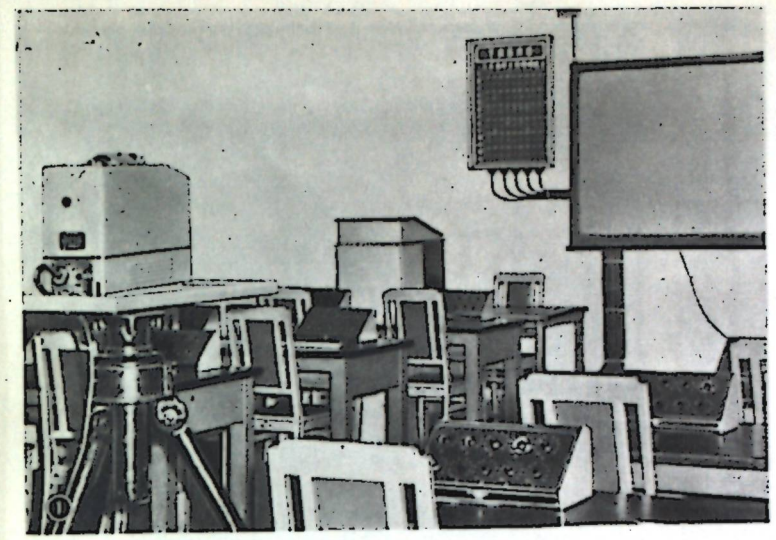
сигнал математически обрабатывается (вычислит. преобразование). Это необходимо, когда контролируемые величины, напр. различные сводные показатели (кпд, производительность), а также физич. величины, характеризующие состояние объекта (темп-ра в центральной части массивного нагретого слитка и др.), непосредственно не могут быть восприняты.

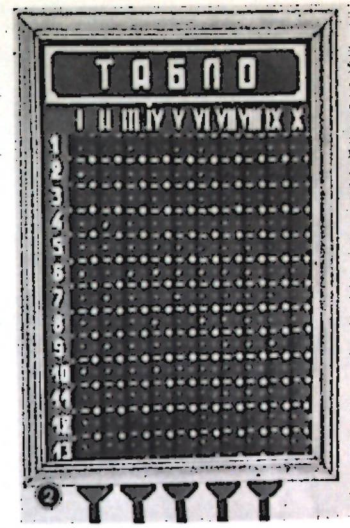
Процесс обнаружения признаков контролируемого события сводится к проверке наличия определ. свойств у сигналов, сформированных датчиками и подвергнутых необходимым промежуточным преобразованиям. Такими свойствами могут быть: выход величины сигнала за определ. пределы, сохранение величины сигнала в течение заданного интервала времени, закономерность чередования различных сигналов, экстремальность одного сигнала из нек-рой совокупности и т. п. Устройства К. а. должны обладать памятью, в к-рую вводятся описания признаков контролируемых событий. Сигналы о наличии к.-л. признаков поступают на ЛУ, к-рые их сопоставляют и формируют сигнал о появлении контролируемого события. Устройство, автоматически обнаруживающее контролируемое событие, т. е. полностью реализующее процесс К. а., воспринимает информацию о контролируемом процессе и при наличии контролируемого события (и только при этом) формирует определенный сигнал. В простейшем случае, когда контролируемое событие характеризуется одним признаком, сигнал о его наличии является и сигналом о появлении контролируемого события. Пример такого простейшего устройства К. а.— температурное реле, срабатывающее при превышении темп-рой заданного предела. Иногда устройствами (приборами) К. а. наз. устройства (приборы), использующиеся при К. а., но не реализующие полностью процесс К. а., напр. автоматич. измерит. приборы.

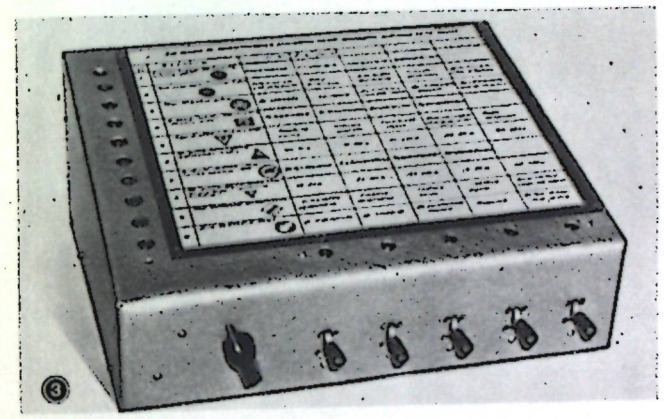
Систему, обеспечивающую обнаружение событий, определяющих воздействия на к.-л. целостный объект, наз. системой контроля данного объекта. В эту систему входят как человек, так и в той или иной степени автоматизир. устройства. Если в такой системе по меньшей мере часть контролируемых событий обнаруживается автоматически, то ее наз. системой К. а. (см. *Контроля автоматического система*). В зависимости от того, какая часть операций по обнаружению контролируемых событий приходится на долю человека, можно говорить о большей или меньшей степени автоматизации контроля. Полный автоматич. контроль осуществляется, напр., в автоматизир. агрегатах, работающих без человека (агрегатах, входящих в состав автоматич. поточной линии, генераторах ГЭС, работающих на замке). В системах управления сложными производств. процессами часть операций по контролю обычно выполняется оператором, а на автоматич. устройства возлагают: всю совокупность операций по обнаружению событий, за к-рыми должны следовать воздействия, осуществляемые автоматич. устройствами (напр., защита, нормальные оперативные воздействия); наиболее трудоемкие и часто повторяющиеся операции, связанные с восприятием информации, измерением, вычислением и др. промежуточными преобразованиями; обнаружение характерных признаков событий, требующих привлечения внимания оператора; регистрацию информации, требующей от оператора последующей обработки, и др. На оператора возлагается обнаружение: маловероятных событий; событий, признаки к-рых сильно разнесены во времени; событий, требующих замены оборудования, дальнейшего улучшения технологич. процесса; признаков событий, к-рые при данном уровне техники трудно или нецелесообразно обнаруживать автоматически, и др. Чтобы облегчить человеку выполнение этих операций контроля, предусматриваются спец. методы и средства представления информации (см. *Информации представление*). *В. Ю. Кнеллер.*

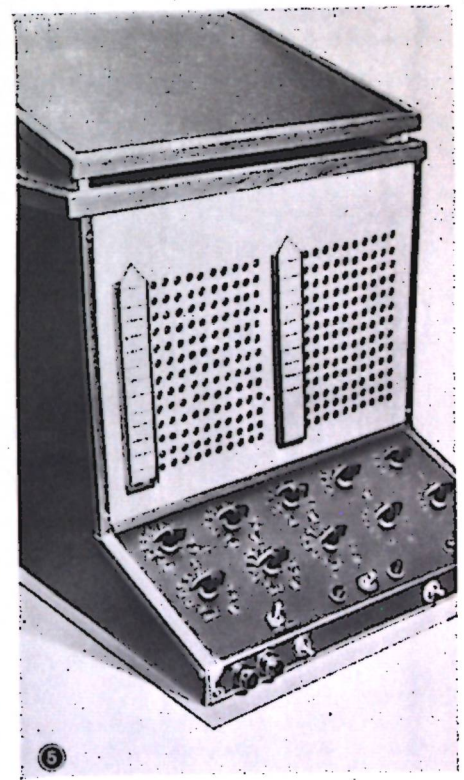
Форма организации К. а. определяется типом объекта (его расположением, количеством и сложностью контролируемых событий, степенью их взаимосвязи и др.) и формой организации управления объектом. Сами средства контроля существенно зависят от формы орг-ции, изменяясь от локальных обособленных контрольно-измерит. приборов до сложных систем централизов. контроля и телеизмерит. систем. В машиностроит. произ-ве технологич. контроль осуществляется рассредоточенными устройствами в процессе обработки изделий, при транспортировке их или на спец. выделенных многооперац. измерит. станциях. Готовые детали пропускаются через машины сортировки и отбраковки, а готовые изделия — через контроллеры-паспортизаторы. Статистич. централизов. контроль позволяет предвидеть недопустимые отклонения и оптимизировать процессы. Кроме технологического, вводится диспетчерский производств. контроль, учитывающий работу и простой оборудования, выпуск продукции и состояние запасов. В непрерывном химич. произ-ве централизованно контролируются как технологич. (качественные) параметры, так и показатели состояния оборудования, количество полуфабрикатов и готовой продукции. Для этого используются простые датчики либо сложные анализаторы, передающие показания на вторичные приборы, установленные на центр. щитах. Применяются также машины *контроля централизованного*, осуществляющие обегающий контроль точек контроля, кодирование, обработку и документацию собранной информации. Указанные машины объединяются с вычислит. и управляющими машинами. В условиях разветвленных и протяженных систем электроэнергетики, метеорологии, транспорта, нефтедобычи и др. применяются телемеханич. устройства, передающие информацию в центр. диспетчерские или координац.-вычислит. пункты. Др. предприятия имеют аналогичные, промежуточные или смешанные формы организации.

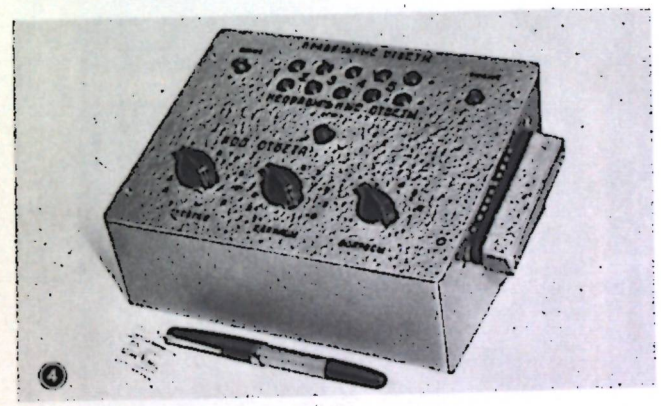
В зависимости от количества источников первичной информации и метода их опроса различают след. формы автоматич. контроля: 1) Единичный (одноточечный) К. а.— контроль только одного к.-л. параметра, вне связи с др. информац. элементами. Для этого используются простейшие одноточечные приборы. 2) Множественный (многоточечный, многократный, мультиплицированный) К. а. — координированный контроль мн. параметров и др. информац. элементов посредством многоточечных приборов, машин и систем. Формой множеств. контроля является централизован-

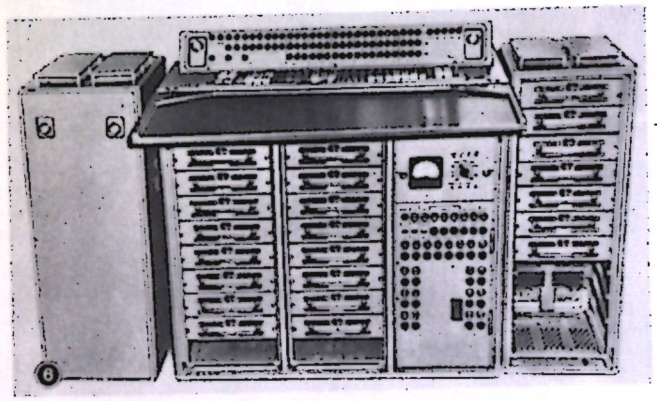


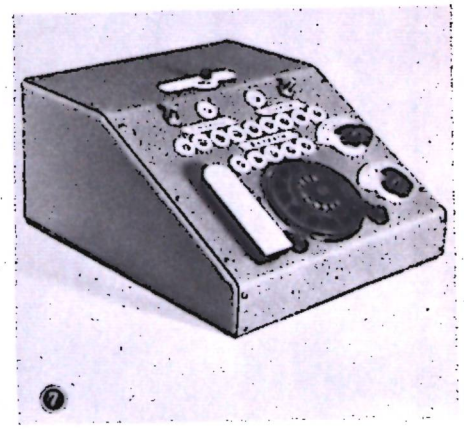




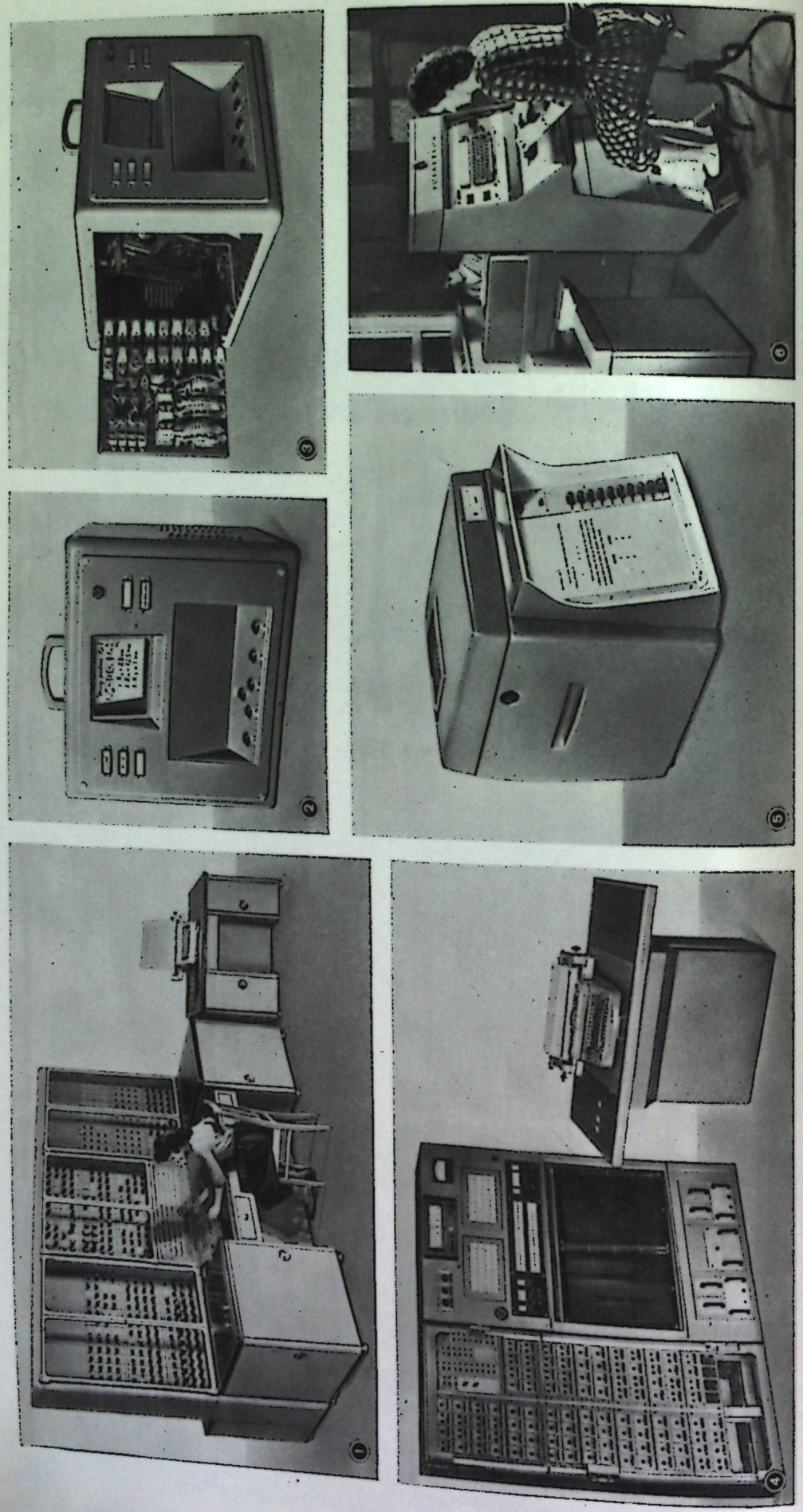








Обучающие машины. 1, 2, 5. К ст. Обучающий автоматизированный класс. 1 — Обучающий автоматизированный класс ОАК-6. 2 — Настенное световое табло. 5 — Пульт преподавателя. 3, 4, 7. К ст. Обучающая машина. 3 — Обучающий контролирующий автомат ОКА-7-4. 4 — Малогабаритная обучающая машина К-2. 7 — Контролирующая машина ОМ-1-2. 6. К ст. Обучающий комплекс. Цифровая вычислительная машина УМШН Ин-та кибернетики АН УССР.



1, 4. К ст. Обегающего цифрового контроля машина. 1 — Машина централизованного контроля МАР-1, 4 — Машина централизованного контроля «Зенит-1». 2, 3, 5, 6. К ст. Обучающая машина. 2 — 3 — Обучающая машина «Марк II» (США). 5 — Обучающая машина «Экзаменатор». 6 — Обучающая машина САКИ (Англия).

ный К. а., при к-ром приемные (исполнит.) приборы сосредоточиваются в одном центральном, напр. диспетчерском, пункте. 3) Параллельный К. а. — непрерывное и одноврем. использование информации по всем каналам множеств. системы. 4) Последовательный К. а.— поочередный сбор информации от мн. источников и каналов множеств. системы по заранее заданной программе. 5) Последовательно-параллельный К. а. — сочетание последовательного и параллельного способов сбора и использования информации в множеств. системах. 6) Обегающий К. а. — форма последоват. К. а., при к-рой источники информации автоматически переключаются в постоянной очередности и цикличности. 7) Логический (самонастраивающийся, адаптативный) К. а. — форма последовательно-параллельного К. а., при к-рой порядок, длительность и количество включений различных источников подчиняются алгоритму, учитывающему изменение условий. 8) Эпизодический К. а.— контроль по желанию оператора или по автоматич. сигналам неисправностей, от случая к случаю. 9) Многоступенчатый К. а. — соподчиненный контроль с разветвл. системой сбора, переработки и использования информации, подчиненный общей организации управления на предприятии. Примером может служить 3-ступенчатая структура с цеховыми, заводскими и комбинатским центрами контроля.

В зависимости от места расположения исполнительных устройств К. а. различают: 1) Локальный (местный) К. а. — контроль в непосредств. близости от рабочих машин и производств. процессов. 2) Дистанционный К. а. — контроль на расстоянии. 3) Телемеханический К. а. — телесигнализация, телеизмерение, телеучет, оргасвязь, отличающиеся тем, что в них используются методы и средства, уменьшающие или устраняющие влияние линий передачи сигналов, в частности спец. методы модуляции, кодирования и статистич. приема.

Лит.: Трапезников В. А., Задачи технических наук в развитии автоматического управления и технических средств автоматизации, в сб.: Сессия АН СССР по научным проблемам автоматизации производства, 15—20 октября 1956 г. Пленарные заседания, [т. 1], М., 1957; Темников Ф. Е., Автоматический контроль, М., [1949]; Шенброт И. М., Централизованный контроль технологических процессов, М.— Л., 1961; Автоматический контроль линейных размеров изделий, под ред. В. А. Трапезникова, М., 1947; Добрынин Е. М., Приборы автоматического контроля размеров в машиностроении, М., 1960; Кнеллер В. Ю., Об определении и специфике автоматического контроля, «АиТ», 1962, т. 23, № 4.

Ф. Е. Темников.

КОНТРОЛЬ АКТИВНЫЙ (active check; contrôle actif; aktive Kontrolle), в машиностроении,— сочетание контроля размеров обрабатываемой детали с автоматич. воздействием на органы обработки с целью получения требуемой величины размера. В этом случае понятие К. а. полностью совпадает с понятием автоматического управления процессом обработки.

Д. И. Агейкин.

КОНТРОЛЬ ДИСТАНЦИОННЫЙ [remote check; contrôle à distance; Fernkontrolle (in der Fernwirktechnik), Fernbeobachtung (beim Einsatz von Fernseh-Anlagen in der Fernwirktechnik)] — автоматический контроль, при котором чувствительный элемент (датчик) и вторичный прибор конструктивно обособлены и соединены каналом связи. Механич. передачи, используемые в качестве канала связи, имеют ограниченное применение для передачи на расстояние порядка 100 *м* положений колокола газгольдера, поплавка уровнемера, сигнального семафора и др. Гидравлич. передачи на тех же расстояниях позволяют передавать значения уровня, давления или расхода посредством труб диаметром 10—30 *мм*. Шире распространены пневматич. передачи, особенно в химич. и нефтяной промышленности, где должны соблюдаться правила взрыво- и пожаробезопасности. Передача осуществляется по трубкам диаметром 2—6 *мм* на расстояние до 300 *м* в зависимости от допустимых запаздываний. В пневматич. системе запаздывание показаний возрастает с увеличением длины соединительной трубки при пост. ее диаметре (рис. 1). Различные измеряемые величины преобразуются в давление сжатого воздуха унифицированными датчиками. Приемниками являются манометрич. приборы.

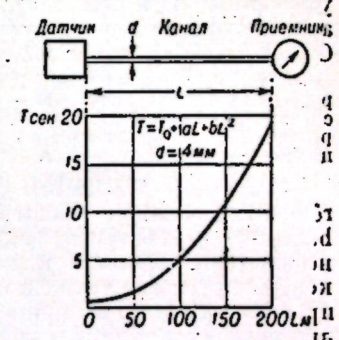


Рис. 1. График запаздывания показаний пневматич. устройства дистанционного контроля.

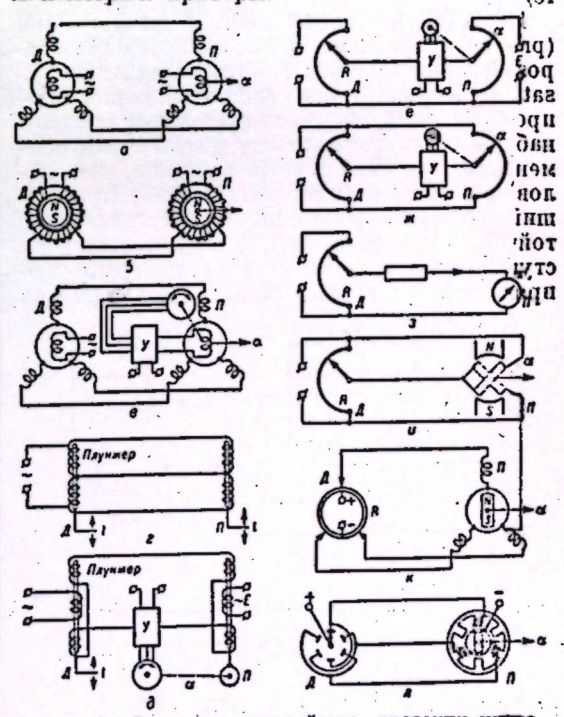


Рис. 2. Электрич. устройство дистанционного контроля: *а* — сельсинная пара; *б* — магнесинная пара; *в* — сельсинная синхронно-следящая система; *г* — индукционный самобалансирующийся мост; *д* — система с дифференциально-трансформаторными датчиками; *е* — потенциометрич. схема со следящей отработкой; *ж* — мостовая схема со следящей отработкой; *з* — потенциометрическая схема с токоизмерительными приемниками; *и* — схема с двухобмоточными логометрами; *к* — схема с трехобмоточными логометрами; *л* — импульсная синхронная передача (*Д* — датчики, *П* — приемники, *α* — угол поворота, *l* — линейное перемещение, У — усилитель, *R* — реостатный датчик).

Все электрич. контрольно-измерительные устройства отличаются дистанционностью.

Наибольшее распространение получили электрич. дистанционные передачи типов, изображенных на рис. 2. Электрич. устройства дистанционного контроля применяются на расстоянии до 1000 *м*. Для передачи на бо́льшие расстояния значений измеряемых величин, сигналов и команд применяют более сложные устройства, в к-рых предусмотрены специальные меры повышения помехоустойчивости. См. *Дистанционная передача*, *Телеконтроль*.

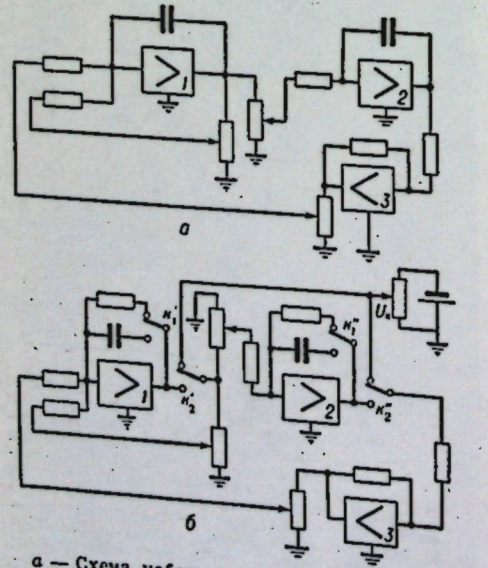
Лит.: Темников Ф.Е., Дистанционный контроль в промышленности, М.— Л., 1940; Александровский Н. М., Системы синхронной передачи, М., 1956; Свечарник Д. В., Дистанционные передачи, М.— Л., 1959. *Ф. Е. Темников.*

КОНТРОЛЬ МЕСТНЫЙ (local check; contrôle local; örtliche Kontrolle, örtliche Beobachtung) — контроль, осуществляемый в непосредств. близости к месту совершения контролируемого технологич. или испытат. процесса. При К. м. применяются упрощенные механич. средства, совмещающие в себе ф-ции восприятия, преобразования и воспроизведения контролируемых величин; используются сигнальные, указывающие и регистрирующие приборы либо защитные и контрольно-сортировочные автоматы. К. м. широко распространен в машиностроении.

Ф. Е. Темников.

КОНТРОЛЬ МНОЖЕСТВЕННЫЙ (multiple check; contrôle multiple; Vielfachkontrolle) — см. *Контроль обегающий*.

КОНТРОЛЬ НАБОРА ЗАДАЧИ на АВМ (problem formulation check; contrôle de la composition du problème; Kontrolle des Aufgabensatzes, Kontrolle des Aufgabenkomplekts) — проверка наличия всех предусмотр. схемой набора соединений между решающими элементами, значений коэфф. передачи, нач. условий и возмущающих воздействий. Простейший метод контроля при моделировании устойчивых систем состоит в подаче на схему ступенчатого входного сигнала, измерении напряжений, устанавливающихся на выходах



а — Схема набора задачи в режиме «пуск»; *б* — схема набора в режиме статич. контроля.

решающих элементов после окончания переходных процессов, и в сравнении получ. результатов с расчетными. Этот метод не позволяет проверить все элементы схемы набора. Для проверки значений коэфф. в нек-рых АВМ каждый потенциометр, служащий для задания коэфф., снабжается переключателем, с помощью к-рого вход потенциометра отключается от схемы набора и подключается к источнику пост. напряжения 100 *в*, а выход потенциометра — к высокоомному вольтметру. По показаниям вольтметра судят о фактич. значении коэфф. передачи потенциометра.

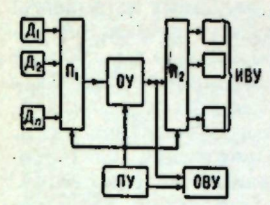
В ряде АВМ процесс контроля автоматизирован, для чего предусматриваются два режима: статич. контроль и динамич. контроль. При статич. контроле проверяются наличие всех необходимых соединений между решающими элементами и правильность установки коэфф. С этой целью набранная схема задачи автоматически расчленяется на неск. разомкнутых цепей (размыкание схемы происходит на выходах интеграторов). На вход каждой цепи подается одно общее пост. напряжение контроля, а интеграторы переводятся в режим масштабных усилителей. Напр., в схеме набора (рис., *а*) при статич. контроле ключи κ_1' и κ_1'' переводят интеграторы *1* и *2* в режим масштабных усилителей (рис., *б*), а ключи κ_2' и κ_2'' расчленяют схему на две разомкнутые цепи и подключают входы этих цепей к источнику напряжения контроля $U_к$. Это напряжение должно быть выбрано так, чтобы ни один из усилителей не вышел за пределы линейности. Зная величину $U_к$, определяют расчетные значения напряжений на выходах усилителей и сравнивают их с фактич. значениями. Несоответствие результатов указывает на неисправность в схеме набора.

Динамич. контроль служит для проверки работы интегратора, в частности емкости конденсатора обратной связи. Для этого с помощью селектора на проверяемый интегратор в течение точно замеряемого промежутка времени $t_к$ подается пост. напряжение $U_{вхк}$. Замерив выходное напряжение интегратора $U_{вых}$ и зная величину входного сопротивления R, определяют емкость C конденсатора обратной связи по ф-ле

$$C = \frac{U_{вхк} \cdot t_к}{U_{вых} \cdot R}.$$

Лит.: Корн Г. и Корн Т., Электронные моделирующие устройства, пер. с англ., М., 1955, гл. 7, § 6. *Н. Н. Михайлов.*

КОНТРОЛЬ ОБЕГАЮЩИЙ (multiple switching check; contrôle multiple par commutation; durchlaufende Kontrolle) — автоматич. контроль большого числа параметров при помощи одного устройства, поочередно подключаемого к *датчикам* каждой из контролируемых величин. Применение К. о. характерно для *контроля централизованного*. При К. о. (рис.) входной переключатель, управляемый программным устройством, последовательно соединяет датчики с общим узлом контроля. В ф-ции общего узла могут входить: сравнение значений параметра с заданными предельными значениями с целью обнаружения отклонений; цифровое преобразование сигнала, отображающего значение контролируемого параметра; вычислит. обработка значения параметра. В соответствии с ф-циями, выполняемыми устройством К. о., результаты контроля, полученные в общем узле, могут выводиться: либо на общий выходной узел в сопровождении сигнала номера параметра, к к-рому этот результат относится; либо через выходной переключатель, управляемый синхронно с входным, к индивидуальным выходным узлам. В частности, цифровая регистрация и представление результатов измерения по вызову выполняются в общем выходном узле, а сигналы отклонений и сигналы на автоматич. регуляторы могут выводиться на индивидуальные узлы.



Структура устройства обегающего контроля: $Д_1$ — $Д_n$ — датчики контролируемых величин; $П_1$ — входной переключатель; $П_2$ — выходной переключатель; *ОУ* — общий узел контроля; *ПУ* — программное устройство; *ОВУ* — общий выходной узел; *ИВУ* — индивидуальные выходные узлы.

Число точек, охватываемых устройством К. о., может колебаться от неск. десятков до неск. тысяч. Скорость обегания определяется динамич. хар-ками контролируемого процесса и технич. возможностями входного переключателя (см. *Опрос величин*). Так, напр., скорость обегания при контроле теплотехнич. и химич. процессов составляет от 1 до 10 точек в 1 сек., для контроля быстро протекающих процессов она может превышать 10 тыс. точек в сек. Если быстродействие входного переключателя ограничено, эффективный контроль может быть достигнут применением разных периодов опроса для различных величин одного и того же процесса, в зависимости от требований к быстродействию контроля каждой отдельной величины (см. *Порядок опроса величин*). Обегание по сложной программе может применяться и в тех случаях, когда требуется различная частота выполнения отдельных ф-ций в общем узле контроля. Использование общего узла контроля, поочередно подключаемого к различным датчикам, требует унификации их выходных сигналов.

Лит. см. при ст. *Контроль централизованный.* *И. М. Шенброт.*

КОНТРОЛЬ ПРОГРАММНЫЙ ЦВМ (programmed check; contrôle programmé; Programm-Kontrolle) — контроль с помощью программы или группы команд программы: а) отсутствия пост. ошибок в работе машины или отдельных ее устройств; б) правильности программы; в) отсутствия случайных ошибок (сбоев) в работе машины; г) правильности вычислений. К. п. отсутствия пост. ошибок в работе машины производят *испытательными программами* при наладке машины или при ее поверке перед решением задачи. К. п. правильности программы является одной из форм *отладки программы* на машине и осуществляется с помощью спец. отлаживающей программы. К. п. отсутствия сбоев в работе машины выполняется группой команд, включ. в программу решения задачи. Примерами такого К. п. являются двойной и двойной-тройной счет.

Двойной счет осуществляется следующим образом. Пусть нек-рый участок R программы выполняется и дает результат, наз. первым результатом двойного счета. При выполнении этого участка могли изменяться отдельные его команды, которые необходимо восстановить в первоначальном виде. Затем вновь выполняется участок R. Полученный второй результат сравнивается с первым; при их совпадении считается, что при выполнении участка R программы в работе машины не было случайных сбоев, и решение задачи продолжается. В противном случае машину останавливают иногда с предварительным выводом результатов на печать, на перфоленту или на перфокарты. Если каждый счет приводит к большому количеству результатов, то применяется *контрольное суммирование* результатов и сравнение не самих результатов, а их контрольных сумм. Логическая схема двойного счета с контрольным суммированием может иметь вид $\ldots R\Sigma_1 O(R)\, E(R)\Sigma_2 P'\overline{Я}\downarrow \ldots$, где R — выполнение участка R программы; Σ_1 — первое контрольное суммирование; $O(R)$ — восстановление в первоначальном виде изменившихся команд участка R; Σ_2 — второе контрольное суммирование; $E(R)$ — обращение к участку R (см. *Команда возврата*) с тем, чтобы повторить выполнение этого участка программы; P — сравнение контрольных сумм; $Я$ — останов при несовпадении контрольных сумм.

Нередко наблюдаются сбои в работе оперативных ЗУ, в результате к-рых портится программа или к.-л. др. данные, необходимые для решения задачи. Может оказаться так, что изменение (порча) отдельных команд программы не влечет за собой изменения результатов или контрольных сумм в выполняемом в данный момент времени двойном счете. С целью исключения такого типа ошибок в двойном счете предусматривается, как правило, контрольное суммирование также и программы с последующим сравнением контрольных сумм, причем в случае их несовпадения программа обновляется. Для этого предусматривается такая организация двойного счета, что при совпадении контрольных сумм программы она каждый раз записывается во внешнем ЗУ с «запоминанием» номера $к$ команды, к-рой следует передать управление, чтобы продолжить решение задачи. В случае несовпадения контрольных сумм программы производится запись программы из внешнего ЗУ в оперативное ЗУ и передача управления команде с номером $к$. Контрольное суммирование не всегда позволяет определить, были ли случайные сбои во время счета по программе, т. к. может оказаться, что, хотя контрольные суммы первого и второго счета и совпали, в машине имелись случайные сбои. Но такое событие маловероятно и потому в практике широко применяют контроль машины с использованием контрольных сумм.

Двойной-тройной счет, так же как и двойной, предусматривает сравнение результатов двойного счета (или их контрольных сумм), но при их несовпадении автоматически выполняется тот же участок в третий раз и сравнивается третий результат (или его контрольная сумма) с каждым из первых двух. При несовпадении третьего результата ни с первым, ни со вторым машина останавливается. В остальных случаях продолжается дальнейшее выполнение программы. Ниже приведена возможная логич. схема двойного тройного счета с контрольным суммированием:

$$\ldots R\,\Sigma_1\, O(R)\, E(R)\, \Sigma_2\, P\uparrow(\sigma_1, \sigma_2)\, O(R)\, E(R)\, \Sigma_3\, P\uparrow(\sigma_1, \sigma_3)\, P\uparrow(\sigma_2, \sigma_3)\, Я\downarrow \ldots,$$

где R — выполнение участка R программы; $O(R)$ — восстановление в первонач. виде изменяемых команд участка R; $E(R)$ — обращение к участку R; Σ_1, Σ_2 и Σ_3 — первое, второе и третье контрольные суммирования, в результате к-рых получаются соответственно контрольные суммы σ_1, σ_2 и σ_3; $P(\sigma_i, \sigma_j)$ — сравнение контрольных сумм σ_i и σ_j $(i \neq j)$; $Я$ — останов в случае несовпадения контрольных сумм σ_i и σ_j. Двойной-тройной счет может приводить к получению неверных результатов, если в течение первого счета произошли сбои в работе машины, из-за к-рых оказались искаженными команды участка R. При этом контрольные суммы σ_2 и σ_3 могут совпадать при неверных результатах. Поэтому двойной-тройной счет необходимо сочетать с контролем сохранности программы (напр., со сравнением контрольных сумм программы, подобным описанному для двойного счета).

К. п. правильности вычислений при решении задачи осуществляется чаще всего т. н. способом контрольных соотношений. Если получаемые результаты должны удовлетворять к.-л. соотношению, известному заранее и не используемому для получения этих результатов, то через определ. промежутки вычислит. процесса производится (продусмотренная в программе) проверка, удовлетворяют ли получаемые результаты с достаточной степенью точности такому контрольному соотношению. Напр., при вычислении значений синусов и косинусов можно проворять, удовлетворяют ли получаемые машиной числа соотношению

$$|\sin^2 x + \cos^2 x - 1| < \varepsilon,$$

где ε — достаточно малое положит. число.

В ряде случаев в качестве контрольных соотношений используются сами исходные ур-ния. Напр., при решении алгебраич. уравнения $F(x)=0$ найденное значение неизвестного $x=a$ подставляется в исходное ур-ние и вычисляется значение ф-ции $F(a)$. Если $|F(a)|<\varepsilon$, то найденное значение $x = a$ считается правильным.

При решении, напр., дифференц. ур-ния $y'=f(x, y)$ вычисляются значения $y_1, y_2, \ldots, y_n$ искомой ф-ции $y(x)$. Далее к.-л. методом числ. дифференцирования вычисляются значения производной y_i', и по найденным значениям ф-ции $y(x)$ и ее производной проверяют выполнение неравенства

$$|y_i' - f(x_i, y_i)| < \varepsilon.$$

Г. Д. Фролов.

КОНТРОЛЬ ПРОФИЛАКТИЧЕСКИЙ ЦВМ (preventive check; contrôle préventif; protiphylaktische Kontrolle) — система мероприятий, проводимых для обнаружений и замены элементов вычислительной машины, параметры которых приближаются к предельно допустимым (критическим) значениям. Признаками критич. состояний машины являются: постепенное изменение электрич. параметров радиоэлектронных деталей, механич. повреждения (изломы проводников, деформация разъемных элементов и др.), окисление контактов и коррозия пайки, изменение температурного режима, повышение влажности и т. д. Критичные элементы машины при обычных условиях работы могут либо вообще не вызывать сбоев вычислит. машины, либо являться причиной весьма редких сбоев. Однако при дальнейшем отклонении параметров или незначит. изменениях режимов работы эти элементы вызывают систематич. или часто повторяющиеся случайные сбои, срывающие решение задачи. Особенно серьезные последствия могут иметь непредвиденные нарушения работы машин, управляющих сложными реальными процессами и работающих в истинном масштабе времени. Для выявления критичных элементов искусственно создаются утяжеленные режимы работы, наз. профилактическими. Для этого: 1) изменяют питающие напряжения устройств и блоков машины. При статич. профилактич. режиме контрольные значения питающих напряжений остаются постоянными в течение всего цикла К. п. Такие режимы широко применяются на машинах «Стрела» и БЭСМ (СССР), ДИСЕАК и НОРК (США). Динамич. контрольный режим предусматривает подачу в цепи смещений периодически изменяющегося напряжения (напр., синусоидального). Этот режим удобен для выявления ошибок, связанных с возникновением паразитных импульсов или пропаданием рабочих сигналов. Динамич. контроль по напряжению применяется в вычислит. машине «Лео» (Англия). Глубина профилактич. режима γ определяется соотношением:

$$\gamma = \left| \frac{r_{пк} - r}{r} \right| \cdot 100\%,$$

где r и $r_{пк}$ — соответственно номинальное и контрольное значения питающего напряжения. Практически $\gamma = 10$—20%; 2) увеличивают частоты гл. синхронизирующих импульсов машины. Это вызывает форсиров. режимы работы динамич. узлов (счетчиков, счетно-импульсных сумматоров и т. п.) и контролирует запас надежности по времени завершения переходных процессов; 3) встряхивают и простукивают отдельные блоки машины для выявления механич. дефектов, окислений разъемных контактов и коррозии пайки; 4) изменяют температурный режим, повышают влажность и т. д. Таким приемом наиболее эффективно проверяются ПП приборы, а также изолирующая основа блоков и панелей.

Обнаружение критич. элементов во время К. п. производится приборным и программным методами. Приборный метод заключается в замерах потенциалов характерных точек машины или проверке с помощью осциллографов рабочих сигналов и сравнении их с эталонными. Приборный контроль в составе вычислит. машины обеспечивает проверку температурных и питающих режимов работы блоков, проверку временных соотношений и значений уровней сигналов. К приборному контролю относится также выносной или стендовый К. п., заключающийся в проверке отдельных блоков или ячеек вне машины на спец. стендах, имитирующих реальные условия работы проверяемого блока. Такая проверка не позволяет контролировать взаимное влияние одних блоков на др., но удобна тем, что не связана с простоем машины. При этом систематически через определ. промежуток времени небольшую часть рабочих блоков машины можно заменять заведомо хорошими. Снятые блоки проверяются на стендах, отлаживаются и вновь ставятся на машину взамен следующей партии блоков и т. д. В результате такой проверки все съемные элементы машины проходят периодич. контроль и наладку. Этот способ К. п. удобен при сравнительно небольшом количестве типов блоков, содержащихся в машине [применяется на машине «Пегас» (Англия) и ДИСЕАК].

Программный метод (см. *Контроль программный*) использует специально подготовл. программы (*испытательные программы*), проверяющие правильность функционирования различных устройств путем выполнения наиболее характерных для каждого устройства операций и сравнения получаемых результатов с эталонными. Система профилактич. режимов машины разбивается при этом на автономные группы, к-рые в процессе работы испытат. программы включаются последовательно, что дает возможность локализовать участки с ненадежными элементами.

По периодичности К. п. делят на ежедневный, недельный, месячный и квартальный или годичный. Выбор того или иного периода К. п. зависит от особенностей машины и ее назначения. Так, на универс. машинах, работающих круглосуточно, часто применяется еженедельный (ежемесячный) К. п. в сочетании с годичным, во время к-рого проводятся полная чистка, наладка и проверка всей машины. Для машин, работающих сменно, целесообразен ежедневный К. п. непосредственно после включения питания. *П. А. Данильченко.*

КОНТРОЛЬ РАЗМЕРОВ АВТОМАТИЧЕСКИЙ (automatic dimension check; contrôle automatique de dimensions; automatische Maß-Kontrolle, selbsttätige Maß-Kontrolle), в машиностроении,— применяется для: разбраковки деталей при приемочном контроле; сортировки деталей на размерные группы с целью последующей селективной сборки узлов машин; прекращения обработки после достижения требуемого размера (активный контроль); автоматического управления размерной настройкой станков. Автоматизация приемочного контроля и сортировки деталей на размерные группы имеет главной целью сокращение числа контролеров. Основные узлы контрольных и сортировочных автоматов: 1) Загрузочное устройство. 2) Транспортное устройство, перемещающее изделия к измерит. позициям и до их выгрузки из автомата. 3) Управляющее устройство, в к-рое обычно входят распределит. валы с кулачковыми приводами, и командоаппараты. Если автомат имеет одно сортировочное устройство на неск. измерит. позиций, управляющее устройство дополняется накопителем сигналов, к-рый задерживает исполнение сигнала на время, необходимое для передачи изделия от измерит. позиции до сортировочной. 4) Измерит. позиция автомата, в к-рую входят установочное устройство, определяющее требуемое положение контролируемого изделия, и измерит. система. Последняя содержит обычно след. элементы: а) датчик, преобразующий величины изменений линейных размеров в те или иные электрич. величины; б) устройство, измеряющее электрич. величины; в) командное устройство, формирующее электрич. импульсы для управления исполнит. цепями автомата; г) блок питания. 5) Исполнит. устройства, в к-рые входят сортирующие механизмы, приемные бункеры, сигнальные табло, счетчики числа деталей и др.

Наиболее распространены в отечеств. промышленности электроконтактные и пневматич. измерит. системы, менее — системы с индуктивными датчиками. Электроконтактные датчики разделяются на предельные, применяемые для контроля размеров или сортировки изделий, и амплитудные — для контроля отклонения формы изделий или взаимного расположения поверхностей. Двухпредельный электроконтактный датчик типа БВ-1075 показан на рис. 1. На измерит. стержне *2* закреплен

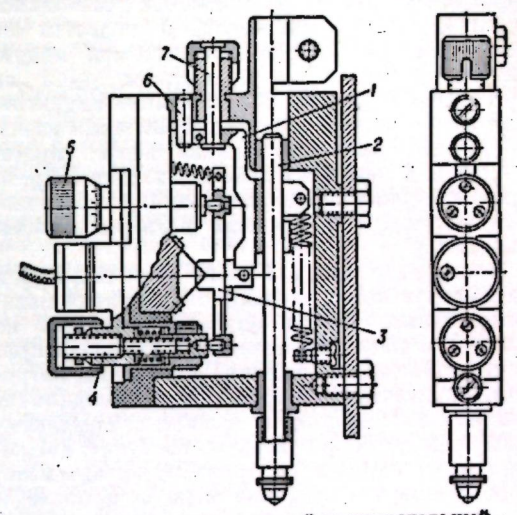


Рис. 1. Электроконтактный двухпредельный датчик БВ-1075.

кронштейн *1*, опорная (пожевидная) поверхность к-рого воздействует на корундовый штифт, закрепленный на рычаге *3*, подвешенном к корпусу датчика на двух плоских пружинах. На рычаге *3* с передаточным отношением 2 : 1 запрессованы подвижные контакты. Настроечные контакты закреплены на концах дифференц. микрометрич. винтов *4* и *5*, на барабанах и гильзах к-рых нанесены ориентировочные шкалы. Для микроподачи шпинделя служит винт *7*. В паз кронштейна *1* входит штифт *6*, предохраняющий измерит. стержень от поворота вокруг оси. Датчик настраивается по образцовым изделиям так, чтобы при выходе значения контролируемого размера за верхнюю или нижнюю границу допуска замыкались соответствующие контакты датчика. Устойчивая работа датчиков достигается при напряжении на контактах от 5 до 10 *в* и токе не более 200 *мка*. Для обеспечения этого режима датчики включаются обычно по схеме с «сеточным контактом», т. е. в цепь сетки электронной лампы. Исполнит. орган (реле или электромагнит) включается в качестве анодной нагрузки. Предельные погрешности срабатывания электроконтактных датчиков составляют 0,5—1 *мк*, измерит. усилие 150—250 *г*.

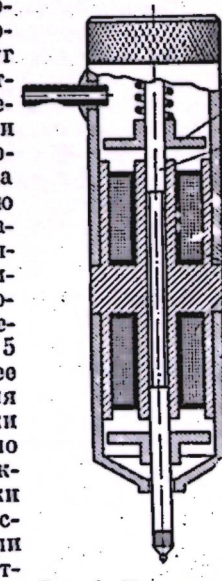


Рис. 2. Индуктивный датчик БВ-844.

Индуктивный датчик типа БВ-844 показан на рис. 2. В корпусе *1* помещены две катушки

индуктивности 2, включенные в преобразующую электросхему, представляющую собой измерительный мост переменного тока. На измерит. стержне датчика 3 закреплены два диска 4. При осевом перемещении измерит. стержня изменяются зазоры в магнитных цепях катушек и, следовательно, изменяются их полные сопротивления, что приводит к разбалансу моста. Напряжение разбаланса усиливается, выпрямляется и подается на командное устройство. Погрешности индуктивных датчиков не превышают $\pm 0{,}5$ *мк* при измерит. усилии 200 *г*. Обычно индуктивный датчик используется со стрелочным электроизмерит. прибором, шкала к-рого протарирована в линейных величинах. Для К. р. а. широко применяются пневматич. измерительные системы (см. *Датчик размеров пневматический*).

В автомате для контроля ряда геометрич. параметров колец подшипников кольца подаются транспортером автоматич. линии на приемную позицию автомата. Шпиндель приемной станции, снабженной магнитным патроном, опускается, забирает кольцо, поднимает его над транспортером автомата, совершающим периодически возвратно-поступат. движение, и укладывает на транспортер автомата, переносящего кольцо на первую и последовательно на следующие измерит. позиции, на каждой из к-рых контролируется неск. параметров кольца. Далее кольцо попадает на позицию разбраковки, откуда годные кольца передаются на транспортер линии, а негодные — в бункер брака. Для контроля размеров колец применен пневмоэлектроконтактный метод измерения.

В качестве измерит. органов приборов активного контроля используются, как правило, электрич. датчики. Командные электрич. импульсы подаются датчиками исполнит. органам станка или преобразуются в световые сигналы, за к-рыми наблюдает рабочий. К индуктивным датчикам могут подключаться шкальные отсчетные устройства, позволяющие рабочему следить за изменением размера обрабатываемого изделия. Наиболее распространены приборы активного контроля на шлифовальных операциях.

На рис. 3 показана схема прибора, установленного на шлифовальном автомате, обрабатывающем дорожку качения внутреннего кольца шарикоподшипника. Один конец рычага *1* касается поверхности обрабатываемого кольца *2*; др. конец рычага контактирует с измерительным наконечником двухпредельного датчика *3*, подающего команды на переключение с чернового режима шлифования на чистовой и на прекращение обработки кольца. Масляный демпфер *4* предохраняет рычаг *1* от воздействия вибраций станка. Диаметр дорожки качения кольца контролируется косвенным методом: непосредственно измеряется не диаметр, а глубина желоба.

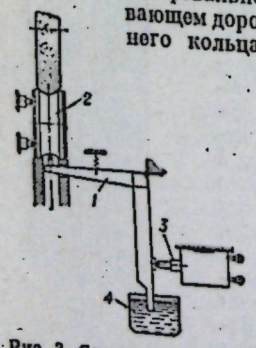


Рис. 3. Схема прибора для контроля в процессе шлифования глубины дорожки качения внутр. кольца шарикоподшипника.

При обработке изделий по методу «на проход» или врезанием до упора применяются автоматич. приборы для измерения размеров изделий непосредственно после выполнения данной операции. По результатам измерений они подают команды на подналадку станка, т. е. на перемещение режущего инструмента или упора, компенсирующее износ инструмента. *М. И. Коченов.*

КОНТРОЛЬ СТАТИСТИЧЕСКИЙ (автоматический) (statistical check; contrôle statistique; statistische Kontrolle) — контроль хода технологического процесса или качества изделий, основанный на статистической обработке результатов контроля неск. изделий. К. с. подразделяется на два вида: текущий — осуществляемый в процессе обработки изделий с немедленным использованием результата для управления технологич. процессом, и приемочный — для выборочной приемки продукции, предъявляемой большими партиями. К. с. текущий заключается в наблюдении за состоянием технологич. процесса путем периодич. взятия проб из обработанной продукции, по результатам проверки к-рых оцениваются ход технологич. процесса и качество продукции. Он наиболее эффективен при сочетании автоматизации технологич. процессов с автоматизацией контроля изделий, попавших в пробу, и математич. обработкой результатов измерений. В этом случае определенная часть потока деталей периодически направляется на спец. устройство, к-рое измеряет заданные параметры и одновременно определяет статистич. хар-ки, установленные для данного технологич. процесса. Если эти хар-ки находятся в установленных пределах, то никакого сигнала не дается, а если хотя бы одна из статистич. хар-к вышла из заданных пределов, то автоматически подается сигнал на управление технологич. процессом. Методы текущего контроля различаются в зависимости от выбранных для оценки хода технологич. процесса вероятностных хар-к (среднего арифметич., среднего квадратичного, медианы и др.), определяемых поставленной целью контроля. Для каждой статистич. хар-ки рассчитываются контрольные пределы, выход из к-рых показывает на необходимость подналадки процесса. При этом учитывают: а) вероятность и процент просачивания дефектных изделий при значениях установленных статистич. хар-к измеряемых параметров, находящихся в контрольных пределах; б) относительное количество ошибочных сигналов о неправильном ходе процесса, когда выход значений установленных статистич. хар-к из контрольных пределов оказался случайным.

К. с. приемочный основан на допущении определенного числа дефектных изделий в партиях, и для непосредственного управления технологич. процессами не применяется. Он дает возможность объективного определения качества продукции, предъявляемой большими партиями при наименьших затратах времени и средств на их контроль. Для оценки партии берется выборка из установленного числа изделий, и в ней определяется число дефектных изделий (или процент дефектности). Если эти показатели не вышли за установленные пределы — партия принимается, если же равны или превышают контрольный предел — бракуется.

Объем выборки и допускаемый процент дефектности зависят от вида предъявляемой продукции. Эффективность К. с. приемочного зависит от 3 показателей: вероятности пропуска партии плохого качества, вероятности забракования хорошей партии и объема контрольных работ. При расчете контрольного предела для доли дефектности учитывают: 1) представительность выборки, т. е. насколько хорошо она представляет всю контролируемую партию изделий без преимущественного отображения какой-либо ее части; 2) объем выборки, обоснованный степенью однородности изделий; 3) гарантируемый уровень качества принятых изделий. Контрольные пределы не рассматриваются, как «планирование брака» или закрепление последнего. Наоборот, они служат средством наглядного наблюдения за снижением доли дефектности и доведением ее практически до нуля. Поэтому контрольные пределы регулярно пересчитываются.

Лит.: Бородачев Н. А. и Журавлев А. Н., Статистические методы анализа и контроля качества продукции, хода технологического процесса и состояния производственного оборудования, в кн.: Машиностроение. Энциклопедич. справочник, т. 15, М., 1950, с. 597—647; Колмогоров А. Н., Статистический приемочный контроль при допустимом числе дефектных изделий, равном нулю, Л., 1951; Майзель Л. М., Автоматический контроль размеров изделий, М.— Л., 1961. *А. Н. Журавлев.*

КОНТРОЛЬ СХЕМНЫЙ ЦВМ (diagram check; contrôle schématique; schaltungsmäßige Kontrolle) — частичная или полная проверка правильности выполнения машинных операций с помощью специальных схем, вводимых в состав ЦВМ для увеличения надежности ее работы. К. с. часто наз. аппаратурным, автоматическим или машинным контролем, в отличие от программного. Он предназначен для автоматического обнаружения ошибок или нарушений режима работы машины независимо от источников их возникновения. Так же как программный контроль, К. с. позволяет не только обнаружить ошибку, но и определить ориентировочно место ее возникновения, причем степень локализации — устройство, узел, элемент — определяется величиной аппаратурных затрат. Различают К. с.: 1) правильности передачи данных между блоками системы и правильности функционирования ЗУ; 2) правильности выполнения арифметич. операций и 3) проверки существования в машине заранее установл. условий, нарушение к-рых вызывается переполнением разрядной сетки, циклом бессмысл. операций и т. д.

Простейшим методом контроля является дублирование отдельных устройств, узлов, элементов машины с последующим сравнением результатов и определением несовпадения схемой контроля. В аппаратурном отношении этот метод наименее экономичен. Контроль передачи информации основан на применении *кодов обнаружения и исправления ошибок*. Схемы контроля строятся по принципу дешифраторов, определяющих момент появления запрещ. комбинации, что говорит о наличии ошибки в данной кодовой группе. Автоматич. исправление ошибок может производиться также схемой контроля, к-рая в этом случае значительно усложняется и будет иметь собств. временную диаграмму работы. Практически наиболее часто применяется контроль на четность, при к-ром схема контроля — одноразрядный сумматор, складывающий по модулю 2 содержимое всех разрядов переданной (принятой) кодовой группы. Исправление ошибок производится в этом случае программным путем. Схемы контроля арифметич. операций осуществляют проверку по определ. модулю, причем с увеличением модуля проверки будет обнаруживаться больший класс ошибок, но оборудование и время, необходимое для контроля, увеличиваются. *Г. Б. Смирнов.*

КОНТРОЛЬ ЦВМ (electronic digital computer check; contrôle des calculateurs électroniques numériques; Kontrolle elektronischer Ziffernrechenmaschinen) — обнаружение ошибок в работе машины и определение неисправных элементов и устройств. Выделяют следующие методы К. ЦВМ: аппаратурные, логические и аппаратурно-логические.

Аппаратурными методами К. ЦВМ определяют правильность решения задачи и работы машины путем использования спец. дополнит. элементов и устройств, к-рые следят и проверяют работу осн. элементов и устройств машины. К этим методам относится К. ЦВМ: по модулю; с применением спец. кодов, обладающих избыточностью; сравнением работы двух или неск. ЦВМ или их устройств. К. ЦВМ по модулю использует то обстоятельство, что сумма цифр целого числа, заданного в P-ичной системе счисления, сравнима с самим числом по модулю $P+1$ или $P-1$. Для десятичной системы счисления, принимая $A \equiv a$ (мод 9) и $B \equiv b$ (мод 9), имеем $AB \equiv ab$ (мод 9) $A+B \equiv a+b$ (мод 9).

Напр..	$+$		$-$		$\times$	
	239546	2	239546	2	25	7
	130168	1	130168	1	25	7
	369714	3	109378	1	625	4

Этот метод К. ЦВМ применяется при проверке правильности выполнения арифметич. операций.

К. ЦВМ с применением спец. кодов, обладающих избыточностью, основан на использовании кодов типа Хэмминга. Простейшим кодом, посредством к-рого можно выявить одну ошибку, является код с К. ЦВМ на четность или нечетность количества единиц в числе. Напр., при К. ЦВМ на нечетность к коду добавляется спец. разряд и вышеприведенные коды запишутся в виде: 2395460, 3697141. Этот К. ЦВМ применяется для проверки правильности передач в машине и записи информации в ЗУ. Аппаратурные методы К. ЦВМ приводят в большинстве случаев к увеличению количества элементов машины, а также к нек-рому увеличению времени выполнения команд. Они позволяют определить как систематич. ошибки, к-рые возникают при необратимых изменениях параметров ЦВМ (напр., выход из строя элемента или устройства, что можно устранить только после замены испорч. элемента или устройства), так и случайные ошибки, к-рые появляются в результате обратимых изменений параметров машины (напр., появление помехи по питанию, нарушению контакта и т. п.; эти ошибки появляются и исчезают случайно, поэтому для их устранения не требуется замена элементов или устройств). Аппаратурный К. ЦВМ ведется в процессе выполнения каждой операции.

Логическими методами К. ЦВМ проверяют правильность решения задачи и работы машины при помощи имеющихся

в машине операций; при этом дополнит. спец. оборудование не применяется. К логич. методам К. ЦВМ относятся: проведение повторных расчетов со сравнением результатов, решение задачи двумя или неск. методами и сравнение результатов, проведение расчетов по спец. контрольным (тестовым) программам с известными ответами. Кроме того, для определения места неисправности применяются расчеты по диагностич. программам. Для контроля передач информации между устройствами ведется проверка по контрольным суммам (т. е. суммам кодов всего передаваемого массива данных). Логич. методы контроля приводят к значит. увеличению времени решения задачи, т. к. на все контрольные проверки необходимо дополнит. время. Этот К. ЦВМ хорошо определяет случайные ошибки в решении задачи. Выявление систематич. ошибок при логич. контроле несколько усложнено, т. к. для этого необходимо иметь правильно работающую систему управления машины. Логич. К. ведется в процессе решения задачи, причем может проверяться выполнение как малой группы команд, так и всей задачи в целом.

В аппаратурно-логическом методе контроля совмещается логич. контроль решения задачи с принудит. или условным подключением спец. схем, контролирующих работу отдельных элементов и устройств машины. Во время проверки работы устройств машины контролирующей аппаратурой решение задачи, как правило, прекращается. Аппаратурно-логич. метод контроля является наиболее перспективным, т. к. он приводит к незначит. увеличению объема аппаратуры машины и времени решения задачи. В большинстве случаев в ЦВМ применяются в различных комбинациях все рассмотренные методы.

Лит.: Ричардс Р. К., Арифметические операции на цифровых вычислительных машинах, пер. с англ., М., 1957; Эккерт В., Джонс Р., Электронная вычислительная машина НОРК, пер. с англ., М.— Киев, 1960; Китов А. И., Криницкий Н. А., Электронные цифровые машины и программирование, 2 изд., М., 1961. *Я.А. Хетагуров.*

КОНТРОЛЬ ЦЕНТРАЛИЗОВАННЫЙ (centralized check; contrôle centralisé; zentralisierte Kontrolle) — автоматический контроль параметров процесса с представлением результатов контроля в центральном устройстве. К основным функциям К. ц. относятся: 1) обнаружение отклонений контролируемых параметров от заданной зоны значений со световой и звуковой сигнализацией и цифровой регистрацией этих отклонений; 2) измерение контролируемого параметра и представление результатов измерения (в виде показаний стрелочного прибора или цифрового указателя) по запросу оператора; 3) вычисление технико-экономич. и др. показателей, характеризующих процесс или объект; 4) цифровая регистрация измеренных и вычисленных значений параметров с заданной периодичностью, в т. ч. на перфокартах, перфоленте и магнитной ленте, для последующей обработки на цифровой вычислит. машине; 5) цифровая регистрация значений параметров по запросу оператора.

При достаточно простом и ясном алгоритме управления процессом К. ц. замыкается через управляющую машину, образуя систему централизованного управления. Система К.ц. замыкается человеком-оператором, если: а) управляемый процесс сложен и законы, по к-рым следует вести управление, еще не сформулированы; б) затруднительно автоматизировать учет всех определяющих управление факторов; в) процесс протекает сравнительно медленно. В случае централизованного управления процессом без участия человека ф-ции, связанные с представлением информации оператору, теряют свое значение, а главное содержание К. ц. заключается в формировании сигналов для управляющей машины, характеризующих отклонение хода процесса от нормы.

Наиболее простые устройства К. ц., предназначенные преимущественно для обнаружения и сигнализации отклонений, состоят из отдельных схем по числу контролируемых параметров (рис. 1). В этом случае узлы сигнализации отклонений для всех параметров и, большей частью, также схемы обнаружения отклонений сосредоточиваются в центральном пункте. Многофункциональные устройства К. ц. выполняются в виде обегающих систем (см. *Контроль обегающий*). Основой обегающей системы К. ц. (рис. 2) служит *обегающего цифрового контроля машина*. Ко входу машины подводятся сигналы датчиков, преимущественно в виде аналоговых электрич., иногда пневматич. величин. Цифровой код для входных сигналов применяется весьма редко. При значит. расстоянии контролируемых объектов от центрального пункта, где устанавливается машина К. ц., применение местных входных переключателей для отдельных групп объектов и передача сигналов на центр. пункт средствами телемеханики позволяют сократить число проводов, соединяющих датчики с машиной. Основные телемеханич. структуры системы К. ц. показаны на рис. 3. Схема *а* применяется на пр-тиях небольшой площади; схема *б* — для группы объектов или точек, контролируемых на большом расстоянии; *в* — на линейных сооружениях (трубопроводы, каналы, дороги); *г* — в протяженных и разветвленных производственных и энергетич. системах. Панель представления информации, где располагаются сигнализаторы отклонения и показывающие приборы измерения по вызову, выносят обычно на

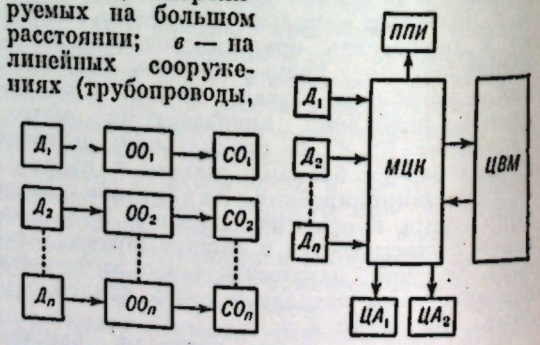


Рис. 1.

Рис. 2.

Рис. 1. Структура устройства централизованного контроля с индивидуальными трактами контроля: $Д_1$—$Д_n$ — датчики контролируемых параметров; $ОО_1$ — $ОО_n$ — схемы обнаружения отклонений; $СО_1$ — $СО_n$ — узлы сигнализации отклонений.

Рис. 2. Структура устройства централизованного контроля с машиной обегающего цифрового контроля: $Д_1$ — $Д_n$ — датчики контролируемых параметров; *МЦК* — машина обегающего централизованного контроля; *ЦВМ* — цифровая вычислит. машина; $ЦА_1$, $ЦА_2$ — цифропечатающие аппараты; *ППИ* — панель представления информации.

отдельный пульт или на общий контрольный щит производств. установки. При большом объеме вычислит. операций в состав системы К. ц. включается цифровая вычислит. машина.

Число точек, охватываемых системой К. ц., может достигать неск. тысяч. Скорость обегания в устройствах К. ц. теплотехнич. и химич. процессов — от 1 до 10 точек в сек., для контроля быстро протекающих процессов она может превышать 10 тыс. точек в сек. Точность основных операций контроля обычно 0,5—1%, в отдельных устройствах 0,1%. В связи с непрерывностью работы устройств К. ц., предназначенных для контроля производств. процессов, они должны иметь срок службы, измеряемый десятками тысяч часов. Очень важное значение имеет *надежность* устройств К. ц.

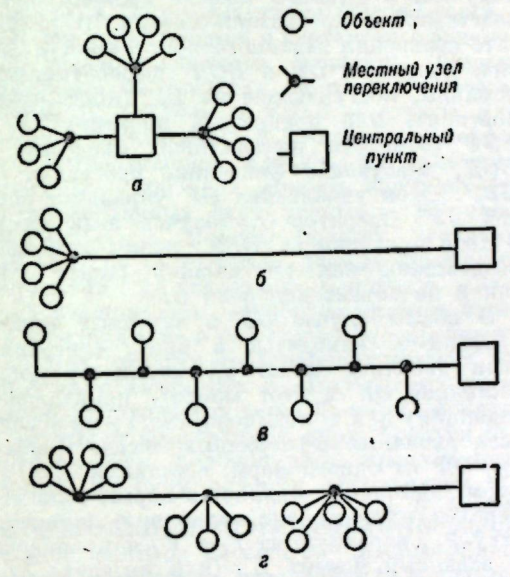


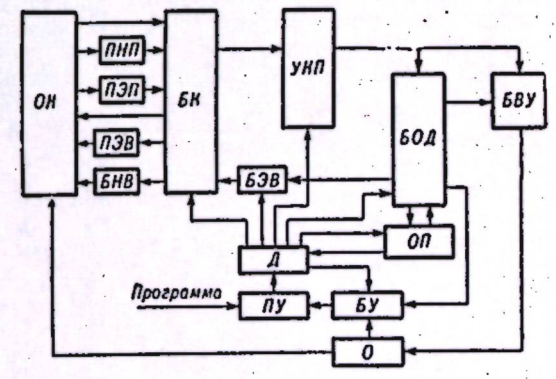
Рис. 3. Основные телемехапич. структуры систем централизованного контроля: *а* — сложная радиальная; *б* — протяженная одноцепочечная; *в* — протяженная разветвленная; *г* — протяженная сложная.

Лит.: Темников Ф. Е., Центротехника, «П», 1957, № 4, с. 1—6; его же, Автоматические регистрирующие приборы, 2 изд., М., 1960; Клейн М. А., Морган Г. С., Аронсон М. Г., Цифровая техника для вычислений и управления, пер. с англ., М., 1960; Лоус К. А., Применение автоматической обработки данных в контрольно-измерительной технике и в системах управления технологическими процессами, «Тр. I Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению», [т. 4], М., 1961; Шенброг И. М., Централизованный контроль и автоматическая обработка данных на электростанциях, в сб.: Централизация управления и автоматика на электростанциях, вып. 1, М.—Л., 1960, с. 7—43; его же, Централизованный контроль технологических процессов, М.— Л., 1961. *И. М. Шенброт.*

КОНТРОЛЬНАЯ МАШИНА УНИВЕРСАЛЬНАЯ (universal checking machine; machine universelle pour contrôle; universale Kontrollmaschine) — управляемая сменной программой логич. машина для автоматич. проверки исправности различных объектов в процессе их производства, хранения или эксплуатации. Объектами контроля могут быть самые разнообразные устройства и процессы: от сравнительно простых изделий (напр., кабельных) до таких сложных систем, как современный самолет или непрерывный технологич. процесс. Одна и та же К.м.у. может проверять исправность ряда различных объектов, причем переход от одного объекта к другому сопровождается лишь сменой программы проверки. К.м.у. имеют универсальную структуру, что позволяет унифицировать значит. часть их узлов и блоков и тем самым обеспечить возможность изменения свойств и емкости отд. модификаций К.м.у. путем изменения наборов стандартных блоков. Применение К. м. у. сокращает затраты времени и средств при решении вопросов контроля новой продукции и сроки запуска последней в серийное производство; контрольная аппаратура остается пригодной при снятии с производства или эксплуатации одних объектов контроля и замене их другими. К.м.у. создают благоприятные условия для полной автоматизации и централизации операций контроля. При этом ускоряется проверка, сокращается количество занятого контролем персонала и снижаются требования к его квалификации.

К.м.у. являются по существу электрич. дискретными системами. Они связываются с неэлектрич. устройствами посредством соответствующих преобразователей. Состояние и поведение объекта контролируется путем количественной и качественной оценки значений его электрич. и неэлектрич. параметров. Значения (изменения значений) параметров могут устанавливаться (происходить) как в результате выполнения объектом своих рабочих функций, так и в результате отработки подаваемых на него с К.м.у. электрич. и неэлектрич. воздействий.

На рис. 1 представлена блок-схема К.м.у. для автоматич. проверки исправности некоторого объекта контроля *ОК*. Электрически *ОК* связан с машиной через блок коммутации *БК*. Электрич. воздействия формируются в блоке электрич. воздействий *БЭВ* и подаются



Блок-схема контрольной машины универсальной: *ОК* — объект контроля; *ПНП* — преобразователь неэлектрич. параметров; *ПЭП* — преобразователь электрич. параметров; *ПЭВ* — преобразователь электрич. воздействий; *БНВ* — блок неэлектрич. воздействий; *БК* — блок коммутации; *БЭВ* — блок электрич. воздействий; *УКП* — узел контроля параметров; *БОД* — блок обработки данных; *БВУ* — блок выводных устройств; *ПУ* — программное устройство; *Д* — блок дешифрации; *БУ* — блок управления; *ОП*— оперативная память; *О* — оператор.

на *ОК* либо непосредственно, либо через преобразователь электрич. воздействий *ПЭВ* (в тех случаях, когда *БК* не допускает непосредственной передачи требуемого электрич. воздействия). Блок неэлектрич. воздействий *БНВ* управляется электрич. сигналами от *БЭВ*. Контролируемые параметры поступают через *БК* на узел контроля параметров

УКП либо непосредственно, либо после преобразования в преобразователях электрич. и неэлектрич. параметров *ПЭП* и *ПИП* соответственно. Блок коммутации *БК* представляет собой устройство, обеспечивающее возможность электрич. соединения k любых из m_1 входных точек (со стороны *ОК* и преобразователей) с любыми k из m_2 выходных точек (со стороны *УКП* и *БЭВ*). Числа m_1 и m_2 определяются из анализа хар-к того класса объектов, для проверки к-рых предназначается К. м. у. Значение k выбирается так, чтобы можно было провести все требуемые проверки *ОК* с учетом совмещения их во времени. Узел контроля параметров *УКП* состоит из l преобразователей: контрольных и измерит. элементов. Контрольные элементы проверяют полярность тока, наличие (или отсутствие) электрич. цепей и напряжения, т. е. параметры, требующие лишь качественной оценки по шкале «да — нет». Измерит. элементы измеряют сопротивления, емкости, индуктивности, напряжения пост. и перем. тока, частоты, число импульсов, временные и др. электрич. параметры, обеспечивая их количеств. и качеств. оценку. Количеств. оценка характеризует абс. значения измеряемых величин, а качеств. оценка осуществляется по шкале «годен — негоден» или «мало — норма — много», или по более сложной шкале. Качеств. оценка по каждому ν-тому ($\nu=1, 2, \ldots, l$) элементу *УКП* кодируется в виде α_ν-разрядного r-ичного числа. Из соображений простоты реализации обычно берут $r=2$. Число разрядов α_ν определяется принятым для ν-того элемента числом λ_ν градаций шкалы качеств. оценки: $2^{\alpha_\nu} \geqslant \lambda_\nu$. В пределе можно брать такое α_ν, к-рое позволит с требуемой степенью дискретности представлять в виде α_ν-разрядных двоичных чисел количеств. значения соответствующего параметра. Аналогично можно с любой требуемой дискретностью кодировать степень отклонения измеряемого параметра от его номин. значения. Закодированные количеств. и качеств. показания элементов *УКП* поступают на блок обработки данных *БОД* для сравнения, запоминания, осуществления арифметич. и других операций и на блок выводных устройств *БВУ* для фиксации в виде световых сигналов, автоматич. печати или пробивок на перфоленте (перфокарте). Фактич. состояние *ОК* в нек-рый момент времени характеризуется совокупностью значений всех его параметров в этот момент. Информация о фактич. состоянии *ОК* проходит три этапа преобразования: 1) в электрич. форму, удобную для передачи через *БК*, 2) в *БК* по числу одновременно контролируемых параметров и 3) в *УКП* в дискретную форму, удобную для фиксации и последующей обработки. Сочетание значений параметров на входе *БОД* в виде n-разрядного двоичного числа ($n=\sum_{\nu=1}^{l} \alpha_\nu$) наз. состоянием *ОК*. Программа проверки *ОК*, записанная на перфоленте или др. носителе, считается программным устройством *ПУ* и расшифровывается в блоке дешифрации *Д*. Команды программы поступают на *БК* для образования необходимых соединений, на *БЭВ* для формирования требуемых воздействий, на *УКП* для настройки его измерит. элементов на требуемые диапазоны и допуски, на *БОД* для задания хар-к ожидаемого (правильного) поведения *ОК*, на блок управления *БУ* для перестройки его работы в зависимости от характера и исхода проверки на том или ином шаге и, наконец, на блок оперативной памяти *ОП* для запоминания той информации, к-рая по каким-либо причинам не может быть получена в нужный момент времени непосредственно с программоносителя. В результате сравнения заданного программой и фактич. поведения *ОК* в *БОД* вырабатываются команды, поступающие на *БУ* (продолжить, повторить или прекратить проверку) и на *БЭВ* (изменить воздействие). Сведения от *БОД*, требующие фиксации, поступают на *БВУ*. Блок управления *БУ* управляет работой *ПУ*. Оператор *О*, получая информацию о ходе проверки от *БВУ*, может оказывать воздействия как на машину (через *БУ*), так и на объект контроля *ОК*.

В общем случае *ОК* в заданный момент времени t_i находится в норм. состоянии, если двоичное число y_i, характеризующее состояние *ОК* в этот момент, принадлежит заданному для t_i подмножеству Y_i множества всех двоичных n-разрядных чисел. Переход $p_{i,j}$ *ОК* из одного норм. состояния y_i в др. норм. состояние y_j является норм., если этот переход принадлежит заданному подмножеству $P_{i,j}$ переходов из Y_i в Y_j и происходит в заданный момент $t_{i,j}$ (или интервал $\Delta t_{i,j}$) времени. Поведение *ОК* нормально (*ОК* исправен), если 1) для каждого из заданных моментов времени *ОК* находится в норм. состоянии и 2) все переходы *ОК* из одного норм. состояния в др. норм. состояние нормальны. Автоматич. контроль исправности *ОК* сводится к 1) заданию моментов времени t_i, соответствующих подмножеств допустимых состояний Y_i и переходов между ними $P_{i,j}$, 2) подаче необходимых воздействий и 3) проверке в моменты t_i выполнения условия $y_i \in Y_j$ и в интервалах между t_i и t_j условия $p_{i,j} \in P_{i,j}$. В более сложных случаях заключение о работоспособности *ОК* требует запоминания предыдущих результатов и выполнения вычислит. или спец. логич. операций над текущими и предшествующими результатами. Характер и объем этих операций в значит. мере определяют решение вопроса о необходимости введения в К.м.у. оперативной памяти, арифметич. и др. спец. узлов.

Основные научно-исследоват. проблемы в области автоматизации контроля при помощи К.м.у.: 1) минимизация испытаний (тестов) — определение необходимого и достаточного (минимального) объема последовательности подаваемых на входы *ОК* воздействий, позволяющей сделать заключение о том, что *ОК* исправен; 2) минимизация диагностики — определение миним. количества информации на выходах *ОК*, необходимого для нахождения места неисправности *ОК*; 3) выбор оптимальных структур К.м.у.; 4) повышение надежности К.м.у.

Лит.: Автоматическая проверка оборудования самолетов и ракет. Сб. ст., под ред. В. А. Боднера, М., 1962.

П. П. Пархоменко.

КОНТРОЛЬНИК (verifier; appareil de vérification; Kontrollgerät) — электромеханич. устройство для проверки правильности перфорации перфокарт. Входит обычно в состав комплекта счетно-перфорационных машин. Проверяемая колода перфокарт закладывается в приемник К., после чего оператор на клавиатуре последовательно набирает данные первичных документов. Карты поочередно подаются и ощупываются по колонкам, номера к-рых соответствуют нажатым клавишам. Если в перфорации обнаруживается ошибка, то карта задерживается на проверяемой колонке и выдается сигнал ошибки. Ощупывание пробивок в К. разных типов осуществляется либо при помощи щеток и контактного валика, либо перемещающимися штифтами, воздействующими на электрич. контакты. Отечественные К.— К45-6 и К80-6 — служат для проверки 45-колонных и 80-колонных перфокарт соответственно. Емкость их приемных магазинов — 300 карт, емкость карманов отконтролированных карт: годных — 300, бракованных — 30. Помимо полного контроля всех карт на соответствие данных первичных документов, К. позволяют выполнять след. операции: контроль непробитых колонок карт, т. е. обнаружение в них случайных пробивок; автоматич. отметку проконтролированных колонок карт; автоматич. отметку годных карт; подсчет пропущенных через К. карт; раскладку годных и бракованных карт; пропуск без контроля неск. колонок карт; пропуск перфокарты на одну колонку с контролем.

А. И. Китов.

КОНТРОЛЬНОЕ СУММИРОВАНИЕ (check addition; addition de contrôle; Kontroll-Summierung) — операция, основанная на использовании команды сложения с циклич. переносом единицы из старших разрядов в младшие. К.с. служит, как правило, для контроля правильности работы машины с целью исключения влияния случайных сбоев на решение задачи. К. с. применяется, напр., при контроле входных (см. *Программа ввода*) и выходных устройств; при записи (считывании) данных во внешние ЗУ; при непосредственном счете по программе двойной счет, двойной-тройной счет (см. *Контроль программный*). К. с. можно производить с помощью групповых операций, если такие в машине имеются, или по циклу. Логич. схему выполнения К.с. по циклу можно представить след. образом:

$$\ldots \underbrace{\textstyle\sum^{(i)} F\,(i=i+1)\; P\,(i=n+1)}_{\uparrow\qquad\qquad\qquad

определяется необходимая частота опроса каждой контролируемой величины. Выбирается соответствующий *порядок опроса величин*, позволяющий оптимизировать количество информации, поступающей от датчиков в систему в единицу времени. Переработка полученной информации включает в себя ряд математич. операций над выходными сигналами датчиков, напр. усреднение и суммирование значений измеряемых величин за определ. интервалы времени, линеаризацию сигналов, выдаваемых нелинейными датчиками, введение поправок в показания датчиков, расчет сводных показателей процессов.

Выделение контролируемых событий в САК сводится к ряду логич. действий, в результате к-рых выделяется часть информации, передаваемая оператору или системе управления. К таким действиям относятся: сравнение значений величин с заданными для них нормами, выяснение причин неисправностей механизмов сопоставлением значений ряда контролируемых величин, определение обобщенной хар-ки протекания процесса по совокупности показаний всех датчиков, установленных на объекте, и т. д. Определяются требования к устройствам вывода информации. Устанавливается необходимость в использовании тех или иных выходных устройств: мнемосхемы рассматриваемого произ-ва, световых или звуковых сигнализаторов, аналоговых или цифровых регистраторов, стрелочных приборов, цифровых табло и др. Определяется объем информации, представляемой оператору и подаваемой на устройства автоматич. управления. 4) Выбирается и обосновывается структура САК. Исходя из технич. и экономич. соображений, определяются количество и расположение на предприятии пунктов оперативного и диспетчерского контроля и управления. Выявляются методы связи этих пунктов между собой, количество и характер информации, поступающей на каждый пункт и протекающей между отдельными пунктами. Выбираются хар-ки линий связи. 5) Выбираются устройства автоматич. контроля, устанавливаемые на оперативных и диспетчерских пунктах. При построении простых САК с небольшим количеством поступающей на пункт информации выбирают для каждой контролируемой величины свой вторичный показывающий или записывающий прибор, рассчитывают необходимые вычислит. устройства, определяют методы сигнализации работы машин и механизмов, оценивают удобство расположения всех приборов, индикаторов, мнемосхемы на щите или пульте контроля для оператора.

Если в рассматриваемом пункте необходимо переработать значит. количество информации, то обычно применяют *обегающего цифрового контроля машины*. По числу опрашиваемых из каждого пункта датчиков, хар-кам выдаваемых ими сигналов и необходимой частоте опроса определяются параметры входного устройства машины: хар-ки переключателей, общее число точек коммутации, необходимые точность и быстродействие коммутатора, хар-ка аналого-цифрового преобразователя, технические условия на блок линеаризации (в случае необходимости его установки). Знание математич. и логич. операций, производимых над контролируемыми величинами, позволяет рассчитать необходимые технич. хар-ки вычислит. части машины: разрядность, быстродействие производимых операций, емкость оперативной и пассивной памяти, характер и число выполняемых машиной команд и т. д. Наконец, имеющиеся алгоритмы вывода информации оператору и передачи данных другим автоматич. устройствам позволяют сформулировать технич. требования на выводное устройство машины, включая хар-ку мнемосхемы, параметры систем сигнализации, регистрации и выдачи сигналов на устройство управления.

Э. Л. Ицкович.

КОНТРОЛЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО СИСТЕМА (агрегата, цеха, процесса и др.) (automatic check system; système de contrôle automatique; Automatik-Kontroll-system) — совокупность технич. средств, обеспечивающая обнаружение событий, определяющих необходимые управляющие воздействия на объект, без участия или при частичном участии человека (см. *Контроль автоматический*). В зависимости от степени автоматизации контроля человек в К. а. с. выполняет операции различного характера и объема; признаком, отличающим К. а. с. от неавтоматич. системы контроля, является обнаружение в К. а. с. по меньшей мере части контролируемых событий без участия человека.

К. а. с. в целом собирает информацию об объекте и внешних условиях и обрабатывает ее с целью представления в виде сообщений о наступлении событий, требующих определенных управляющих воздействий. Основные технич. средства, использующиеся в К. а. с.: *датчики* — входные устройства, чувствит. органы К. а. с., воспринимающие информацию о состоянии объекта и внешних условиях; преобразователи сигналов, сформированных датчиками, в форму, удобную для дальнейшей переработки в К. а. с. (напр., усилители, преобразователи рода энергии, модуляторы, демодуляторы, кодирующие и декодирующие устройства и др.); автоматич. измерит. устройства, представляющие воспринимаемые физич. величины в виде числовых значений в определенной системе единиц; вычислит. устройства для вычисления сводных показателей, усреднения, ввода поправок и др.; устройства памяти для хранения заранее вводимой информации о признаках контролируемых событий (напр., о допустимых значениях контролируемых параметров), запоминания обнаруженных признаков событий и др.; автоматич. регистрирующие устройства для записи значений параметров в тех случаях, когда выделение признаков осуществляет человек; устройства обнаружения признаков контролируемых событий, логич. устройства, сопоставляющие признаки контролируемых событий и формирующие сигналы о наличии (или отсутствии) тех или иных событий; панели представления информации, *мнемосхемы* и др. устройства, облегчающие человеку операции по обнаружению признаков контролируемых событий и их сопоставлению.

В К. а. с. сложных объектов широко применяется принцип обегания, обеспечивающий более экономичное многоцелевое использование оборудования (см. *Контроль обегающий*). Сложность К. а. с. зависит от сложности контролируемого объекта и степени автоматизации операций контроля.

Лит. см. при ст. *Контроль автоматический.*

В. Ю. Кнеллер.

КОНТРОЛЯ МЕТОДЫ БЕЗ РАЗРУШЕНИЙ (non-destructive check methods; méthodes de contrôle non-destructif; Kontrollmethoden ohne Zerstörung) — см. *Дефектоскопия, Гамма-дефектоскопия, Рентгенодефектоскопия, Ультразвуковая дефектоскопия.*

КОНТУР ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ (electric circuit; circuit électrique; elektrischer Kreis) — пассивная электрическая цепь, в которой могут происходить электрические колебания с частотой, определяемой параметрами самого контура. Простейший К. э. состоит из емкости C и индуктивности L. При отсутствии внешнего воздействия в контуре могут происходить затухающие колебания с частотой $f_0=1/2\pi\sqrt{LC}$. Амплитуда колебаний уменьшается, как $e^{-\delta t}$, где δ — коэфф. затухания. Если $\delta \geqslant 2\pi f_0$, то затухающие колебания в контуре становятся не периодическими. В радиоэлектронике качество К. э. определяется добротностью: $Q=\pi f_0/\delta$. При воздействии на К. э. внешней периодич. силы в нем возникают вынужденные колебания. Амплитуда вынужденных колебаний значительно возрастает у высокодобротных контуров, если частота внешнего воздействия близка к f_0 (резонанс). К. э. является одной из главных частей в резонансных усилителях, генераторах, волномерах.

Лит.: Асеев Б. П., Основы радиотехники, М., 1947; Стрелков С. П., Введение в теорию колебаний, М.— Л., 1951; Харкевич А. А., Основы радиотехники, М., 1962.

В. Б. Брагинский.

КОНЦЕНТРАТОМЕР КОНДУКТОМЕТРИЧЕСКИЙ (conductometric concentration meter; appareil de mesure conductométrique de concentrations; Meßgerät zur konduktometrischen Konzentrationsmessung, konduktometrischer Konzentrationsmesser) — прибор для определения концентрации растворов измерением их электропроводности. Применяется в системах автоматич. контроля и регулирования состава различных технологич. сред, напр. водных растворов кислот, щелочей или солей, электропроводность к-рых в пределах измерения однозначно соответствует концентрации измеряемого компонента. В зависимости от способа взаимодействия с измеряемой средой К. к. подразделяются на электродные и безэлектродные.

В электродных К. к. электроды (стальные, угольные, платиновые или платинированные) помещены в раствор и подключены к измерит. системе, питаемой перем. током. Недостатки электродных К. к.: поляризация, коррозия и загрязнение электродов, ведущие к необходимости их регулярной чистки и к снижению точности измерения. Существуют 2- и 4-электродные схемы измерения сопротивления электролита. Последние более точны. В 4-электродных К. к. питающее напряжение подается на два крайних электрода 1—1′ (рис. 1), а с измерит. электродов 2—2′, расположенных между ними, снимается часть этого напряжения U_x пропорц. концентрации раствора. Это напряжение измеряется с помощью автоматич. *потенциометра*. Для температурной компенсации показаний используется мостик, содержащий термосопротивление $R_т$, расположенное вблизи электродов. Мостик питается напряжением $U_к$, снимаемым с реохорда. Эдс разбаланса мостика $U_{тк}$, пропорц. положению движка реохорда и зависящая от темп-ры, сравнивается с напряжением U_x. Концентрация может также измеряться путем сравнения электропроводности растворов в двух точках, напр. до и после технологич. процесса. Такая дифференц. схема дает возможность контролировать концентрации растворов с небольшим изменением уд. электропроводности и исключать влияние неконтролируемых компонентов раствора,

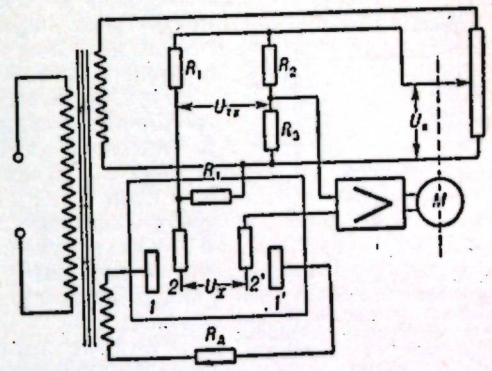


Рис. 1. Потенциометрич. четырехконтактный концентратомер.

влияющих на общую проводимость. К. к. с дифференц. или компенсац. схемой малочувствительны к изменениям питающего напряжения и темп-ры окружающей среды. Электродные К. к. применяются для измерения концентрации растворов с уд. электропроводностью 10^{-6}—10^{-2} *сименс/см*.

Безэлектродные К. к. выгодно отличаются от электродных отсутствием электрич. контакта с измеряемым раствором (устраняется влияние поляризации, коррозии и загрязнения электродов, повышается точность и надежность работы прибора). К. к. безэлектродные по характеру связи с контролируемым раствором делятся на индуктивные и емкостные. Индуктивные К. к. работают как на высокой (до 10 *Мгц*), так и на низкой (промышленной) частотах.

В первом случае индуктивный датчик в виде высокочастотной катушки индуктивности либо погружается в раствор, либо надевается на трубку из непроводящего материала, по к-рой протекает раствор. Контролируемый раствор при этом может рассматриваться как короткозамкнутый вторичный виток. Изменение концентрации электролита (сопротивления раствора) приводит к изменению полного сопротивления катушки индуктивности за счет «привнесенных» активного и индуктивного сопротивлений. Величина «привнесенных» сопротивлений определяется проводимостью раствора, частотой электромагнитного поля катушки и ее геометрич. размерами. Измерение «привнесенных» сопротивлений воспринимается измерит. схемой прибора, шкала к-рого может быть отградуирована в единицах концентрации данного раствора (в % или в граммах на 1 литр). Чувствительность индуктивных бесконтактных К. к. можно повысить путем выбора оптимальных значений частоты и геометрич. размеров датчика, а также путем концентрации магнитного потока катушки с помощью ферритового сердечника.

В индуктивных К. к., работающих на частоте 50 *гц* (рис. 2), ток, возбуждаемый в короткозамкнутом промежуточном витке, составленном контролируемым раствором, меняется в зависимости от электропроводности раствора, возбуждая в измерит. обмотке L_2 эдс, зависящую от концентрации раствора.

Датчики емкостного типа основаны на зависимости полного сопротивления электролитич. ячейки (рис. 3) с изолированными от жидкости электродами от проводимости раствора. К. к. емкостного типа обычно подключают параллельно или последовательно колебат. контуру. О концентрации растворенного вещества судят по степени затухания. Емкостные К. к. требуют применения ВЧ для получения достаточной проводимости в емкостной цепи.

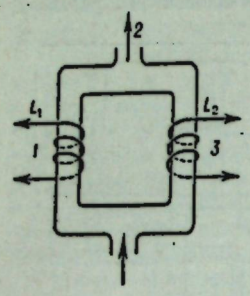


Рис. 2. Датчик индуктивного концентратомера, работающего на частоте 50 *гц*: *1* — к источнику питания; *2* — раствор; *3* — к измерит. схеме.

Температурная коррекция в бесконтактных К. к. осуществляется термометрами сопротивления или термисторами либо применяется термостатирование среды, поступающей в измерит. ячейку датчика. Выбор типа датчика для каждой конкретной среды определяется пределами изменения ее электропроводности: индуктивные высокочастотные К. к. целесообразно применять для сред с электропроводностью от 10^{-4} до 1,0 *сименс/см*; индуктивные низкочастотные (с жидкостным витком) — от 10^{-3} до 1,0 *сименс/см*; емкостные от 10^{-4} до 10^{-1} *сименс/см* для промышл. приборов и до 10^{-6} *сименс/см* для лабораторных приборов повыш. чувствительности.

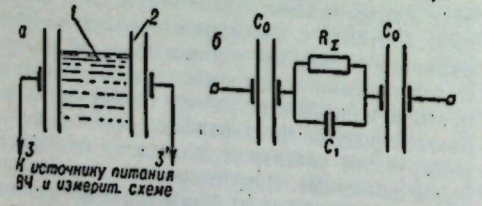


Рис. 3. Емкостный датчик: *а* — принципиальная схема; *б* — эквивалентная схема; *1* — раствор; *2* — стенки измерит. ячейки; *3*, *3'* — к источнику питания ВЧ и измерит. схеме.

Лит.: Туричин А. М., Электрические измерения неэлектрических величин, 3 изд., М.— Л., 1959; Мостофин А. А., Электрические солемеры для контроля качества пара и котловой воды, Л.— М., 1951; Карандеев К. Б., Методы электрических измерений, М.— Л., 1952; Мартынова О. И., Колгуляция при водоподготовке, М.— Л., 1951; Зарянский В. А., Мандельберг И. Р., Высокочастотное устройство для физико-химических исследований и его применение, «ЗЛ», 1958, № 2; Делахей П., Новые приборы и методы в электрохимии, пер. с англ., М., 1957. *С. Э. Шахбудагян-Шоу.*

КОНЦЕНТРАЦИИ ВОДОРОДНЫХ ИОНОВ ИЗМЕРЕНИЕ (hydrogen ion concentration measuring; mesure de la concentration d'ions d'hydrogène; Meßmethoden für die Wasserstoff-Ionenkonzentration) — производится для определения степени щелочности или кислотности раствора электролита. Вода диссоциирует на ионы водорода H+ и гидроксила OH−:

$$H_2O \rightleftarrows H^+ + OH^-$$

Согласно закону действующих масс, произведение концентраций ионов $[H^+]$ и $[OH^-]$ при данной темп-ре есть величина постоянная; при 20°С она равна: $[H^+]\,[OH^-]=10^{-14}$. Логарифмирование этого выражения дает: $\lg[H^+]+\lg[OH^-]=-14$. Возможны 3 случая:

$\lg[H^+]=\lg[OH^-]=-7$ — нейтральная среда
$\lg[H^+]<\lg[OH^-]$ — щелочная среда
$\lg[H^+]>\lg[OH^-]$ — кислая среда.

Степень щелочности растворов численно характеризуют десятичным логарифмом концентрации водородных ионов, взятым с обратным знаком и наз. водородным показателем: $pH=-\lg[H^+]$. Измеряемые значения pH охватываются диапазоном от 0 до 14 pH. При увеличении кислотности (или концентрации водородных ионов) pH растворов уменьшается, а при увеличении щелочности (или концентрации гидроксильных ионов) pH увеличивается.

Для измерения величины pH растворов пользуются двумя методами: колориметрич. и потенциометрич. (электрометрич.). В основе первого метода лежит способность нек-рых веществ, наз. индикаторами, менять свой цвет в зависимости от величины pH раствора, к к-рому они добавляются. Принцип потенциометрич. измерения pH основан на том, что электрохимич. потенциал любого электрода зависит от концентрации одноименных ионов в растворе. Для растворов слабых электролитов при малых концентрациях соблюдается пропорциональность электродного потенциала логарифму концентрации ионов в растворе. При больших концентрациях растворов электролитов необходимо учитывать электростатич. взаимодействие ионов. Для этого вместо концентрации ионов c вводят в рассмотрение активную концентрацию ионов a, определяемую выражением: $a=fc$ в грамм-ионах на литр, где f — коэфф. активности ($f<1$). Зависимость потенциала электрода от величины pH выражается в соответствии с ф-лой Нернста след. образом:

$$\Pi_1=\Pi_0+2{,}3\frac{RT}{F}\lg a_н \text{ или } \Pi_1=\Pi_0-2{,}3\frac{RT}{F}\text{pH},$$

где Π_0 — потенциал электрода при активной концентрации его ионов в растворе, равной единице; R — универсальная газовая постоянная, равная 8,31 *дж*; T — абсолютная темп-ра; F — число Фарадея (96 500 кулонов); $a_н$ — активная концентрация ионов водорода. При $T=293°K$; $\Pi_1=\Pi_0$ — 0,058 pH, т. е. одной единице pH при температуре 20°С соответствует 58 *мв*. Для измерения активной концентрации водородных ионов необходим электрод, закономерно изменяющий свой потенциал в зависимости от концентрации водородных ионов. Такими электродами являются: металлооксидные (сурьмяный, висмутовый, молибденовый, вольфрамовый) и стеклянный. Ни один из металлооксидных электродов не универсален в широком диапазоне значений pH и темп-р. Шире применяют стеклянный электрод (рис. 1, *а*), позволяющий измерять концентрацию ионов водорода во многих растворах различного химич. состава с достаточно высокой точностью (±0,1 pH и выше). Весь диапазон измерения величины pH (от −2 до 14) при температурах от 0 до 100° С охватывается посредством ряда электродов, отличающихся друг от друга маркой электродного стекла. При измерении электродных потенциалов необходим электрод сравнения, потенциал к-рого не должен зависеть от свойств раствора; таким эллектродом служит каломельный или серебряный, помещенный в

раствор электролита, имеющего электролитич. связь с контролируемым раствором.

Для измерения величины pH в производственных условиях электроды помещаются в спец. арматуру. Последняя вместе с электродами, а при необходимости и с температурным компенсатором, образует датчик pH-метра. Датчики подразделяются на

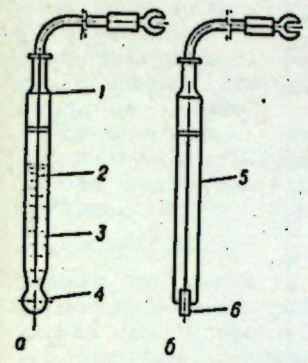


Рис. 1. Электроды: *а* — стеклянный; *б* — металлооксидный; *1* — заделка отводящего провода; *2* — вспомогательный электрод; *3* — приэлектродная жидкость; *4* — шарик из электродного стекла; *5* — корпус; *6* — индикаторная часть.

погружные (рис. 2, *а*), устанавливаемые в технологич. аппаратах (реакторы, отстойники и т. д.); проточные (рис. 2, *б*), устанавливаемые на отводных линиях малого диаметра; магистральные (2, *в*), устанавливаемые на технологич. трубопроводах обычно до $d=300$ *мм*.

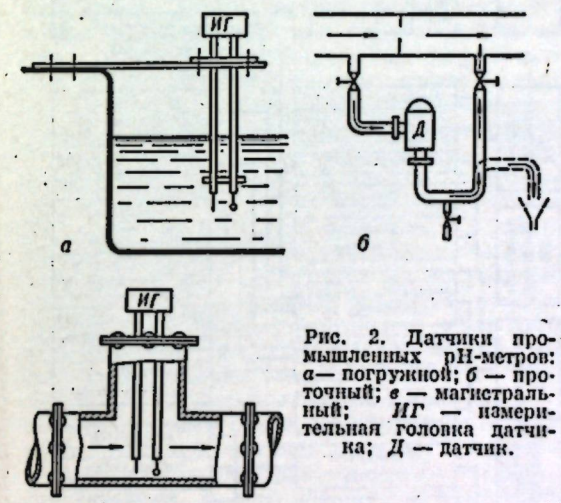


Рис. 2. Датчики промышленных pH-метров: *а* — погружной; *б* — проточный; *в* — магистральный; *ИГ* — измерительная головка датчика; *Д* — датчик.

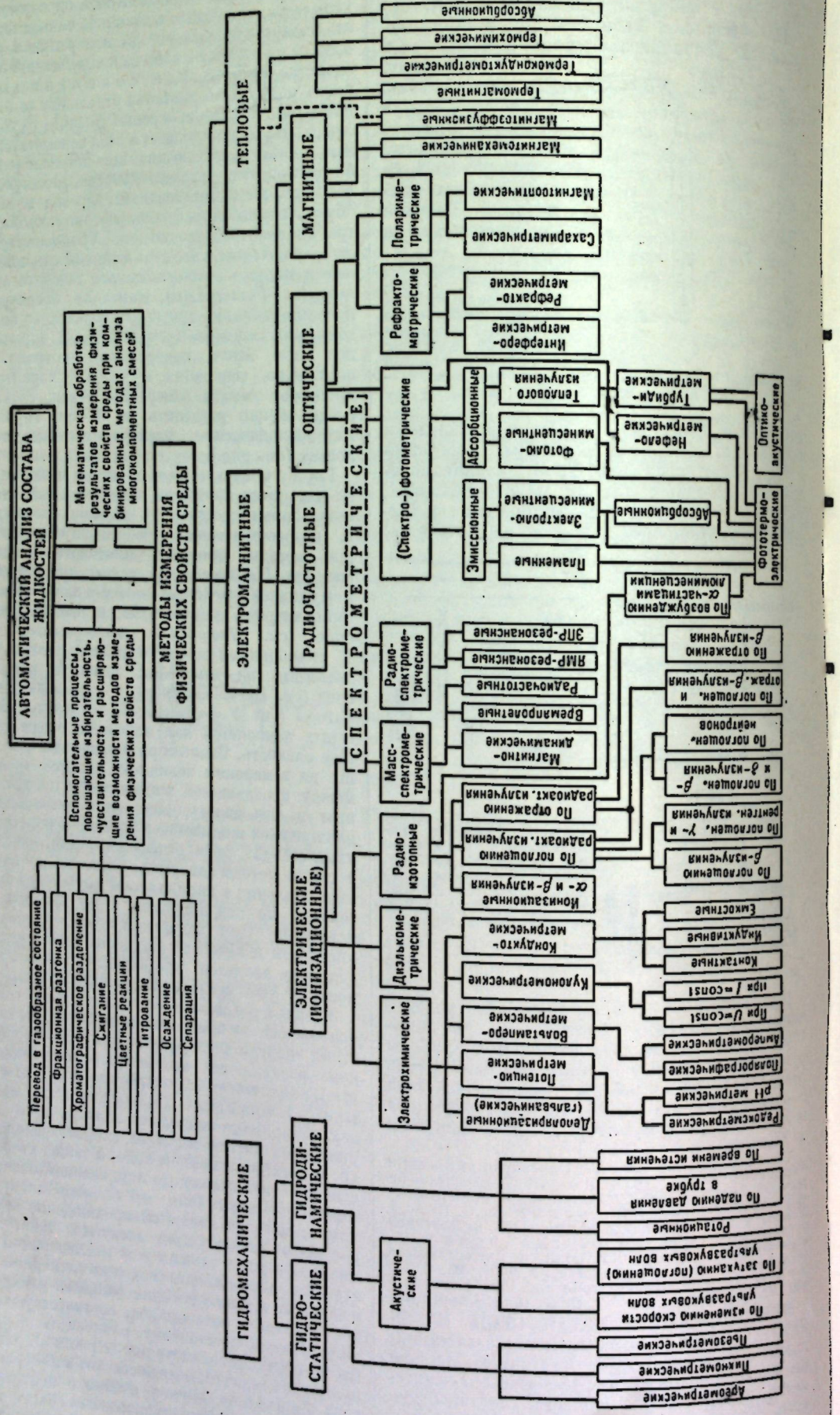
При работе со стеклянными электродами, имеющими внутр. сопротивление до 500—1000 *Мом*, необходимы вторичные приборы с высоким входным сопротивлением. Очень распространены приборы переносного типа с автономным питанием от малогабаритных источников (аккумуляторы, сухие элементы и батареи).

Лит.: Пчелин В. А., Измерение активности водородных ионов (pH), окислительно-восстановительных потенциалов и потенциометрическое титрование, М., 1955; Беловерский С. С. [и др.], Методы и приборы для измерения pH в нефтяной промышленности, М.— Л., 1953; Денисов С. С., Электронные приборы контроля и автоматизации нефтехимического производства, 2 изд., М., 1960; Kratz L., Die Glaselektrode und ihre Anwendungen, Fr./M., 1950. *С. Э. Шахбудагян-Шоу.*

КОНЦЕНТРАЦИИ ЖИДКОСТЕЙ ИЗМЕРЕНИЕ (liquid concentration measurement; mesure de la concentration des liquides; Messung der Konzentration von Flüssigkeiten) — автоматич. определение количеств. состава (весового, объемного) двух- или многокомпонентных жидких сред измерением их физич. свойств. Более общее понятие — автоматич. анализ состава — охватывает определение количеств. и качеств. состава. В зависимости от избирательности методы измерения могут быть *неселективные*, когда измеряются свойства всей смеси, и *селективные*, когда измеряются свойства отдельных ее компонентов. Помимо измерения физич. свойств среды, К. ж. и. включает в себя вспомогательные процессы, обеспечивающие повышение избирательности, чувствительности, расширение областей их использования: перевод в газообразное состояние, фракц. разгонку, хроматографическое разделение (см. *Хроматография автоматическая*), что дает возможность применения методов автоматического газового анализа (см. *Газа анализ*), сжигание, предварит. цветные реакции, при к-рых бесцветное определяемое вещество превращается в окрашенное (при оптич. измерениях), титрование, осаждение, сепарация и др. По характеру процессов методы измерения физич. свойств среды можно разделить на 3 осн. группы: гидромеханические, электромагнитные, тепловые (см. рис.).

Гидромеханич. методы основаны на измерении плотности и вязкости вещества, могут быть гидростатич. и гидродинамические. К гидростатическим относятся в основном методы измерения плотности жидких сред (см. *Плотности измерение*): ареометрич., или поплавковые (см. *Плотномер поплавковый*), пикнометрич., или весовые, и пьезометрические (см. *Плотномер гидростатический*). К гидродинамическим относятся методы, основанные на измерении вязкости жидких сред (см. *Вискозиметрия*), а также акустич. методы (см. *Ультразвуковой контроль*), при к-рых измеряется как плотность среды, так и ее вязкость. Вискозиметрич. методы основаны на измерении величины вязкого трения между неподвижной жидкостью и погруженным в нее движущимся телом либо между движущейся жидкостью и неподвижными стенками сосуда. Сюда относятся ротац. методы, а также методы измерения вязкости по падению давления в капиллярной трубке при протекании по ней жидкости и по времени ее истечения. При измерении концентрации по плотности и вязкости жидкости необходимым условием является предварит. ее термостатирование либо введение коррекции по темп-ре.

Электромагнитные методы, основанные на измерении эффекта взаимодействия энергии электромагнитного поля со средой, разделяются на электрич. (ионизационные), радиочастотные, оптические и магнитные. При электрических (ионизационных) методах измеряются количество электрически заряженных частиц, их масса, скорость, заряд и др. в электромагнитном поле, а также вторичные явления, связанные с движением элементарных частиц. Осн. процессами электрохимич. методов являются прохождение через растворы электролитов электрич. тока, величина к-рого зависит от концентрации и степени диссоциации молекул измеряемого вещества, а также возникновение на электродах электрич. потенциалов, соответствующих окислительно-восстановит. равновесию в процессе перехода электронов в раствор. Сущность деполяризац. метода состоит в измерении тока $I_д$ в электролитич. ячейке с поляризованными электродами, пропорционального концентрации c ионов растворенного в электролите



деполяризующего вещества: $I_д = SDnFc/\delta$, где: S — поверхность электрода; D — коэфф. диффузии; F — число Фарадея; n — валентность ионов измеряемого вещества; δ — толщина диффузионного слоя. Частный случай деполяризационного — гальванич. метод, при к-ром процесс деполяризации протекает в гальванич. ячейке.

Потенциометрич. (редоксметрич.) методы основаны на использовании зависимости величины электродного потенциала E от концентрации ионов c определяемого вещества в растворе: $E = E_0 + \frac{RT}{nF} \ln c$, где R — универс. газовая постоянная; T — абс. температура. К потенциометрич. методам относится pH-метрия (см. *Концентрации водородных ионов измерение*). Сущность вольтамперометрических методов заключается в измерении зависимости величины тока, протекающего через электролитич. ячейку, от поляризующего напряжения, приложенного к ее электродам. При достижении определ. величины напряжения, характерной для каждого вида ионов, находящихся в растворе, ионы начинают разряжаться на катоде, и через раствор проходит ток, величина к-рого пропорциональна концентрации ионов соответствующего вещества. Вольтамперная хар-ка электролитич. ячейки имеет ступенчатый вид и дает возможность определить как химич. состав раствора, так и концентрацию растворенных веществ. Сюда относятся полярографич. (см. *Полярограф*) и амперометрич. методы. Последние наряду с кулонометрич. методами нашли применение при автоматич. титровании (см. *Титратор автоматический*). Кулонометрич. методы основаны на законе Фарадея, согласно к-рому количество W прореагировавшего при электролизе вещества пропорционально количеству протекшего через раствор электричества Q : $W = W_m Q/96484m$, где W_m — атомный или молекулярный вес окисленного или восстановленного вещества; m — количество электронов, участвующих в процессе. Кондуктометрич. методы построены на зависимости электропроводности растворов электролитов в воде от их концентраций (см. *Концентратомер кондуктометрический*).

Диэлькометрич. методы основаны на измерении диэлектрич. проницаемости жидкостей и используются для контроля влажности нефтепродуктов, обнаружения момента фазовых переходов в растворах и др. (см. *Влажности жидкостей измерение*). В радиоизотопных методах измеряется эффект взаимодействия α-, β-, γ-, рентгеновского излучения и потока нейтронов со средой. Измеряется степень поглощения β-, γ-, рентгеновского излучения и потока нейтронов жидкостью, степень отражения β-излучения жидкостью, а также спектральный состав и интенсивность люминесцентного излучения веществ в результате возбуждения его молекул α-частицами. Используются различные комбинации перечисленных методов, позволяющие измерять состав как двух-, так и многокомпонентных жидкостей. На принципе поглощения β- и γ-излучения основаны *плотномеры радиоизотопные*. Масс-спектрометрич. методы анализа основаны на разделении в электромагнитном поле различающихся по массе предварительно ионизированных молекул испытуемого вещества. Получили распространение 3 метода: магнитно-динамич., времяпролетные и радиочастотные. Наиболее эффективно применение масс-спектрометрич. методов при анализе многокомпонентных смесей. Число компонентов может достигать 20—25. Радиочастотные, или радиоспектрометрические методы контроля (см. *Радиоспектроскопия*), включающие в себя методы электронного парамагнитного резонанса и ядерного магнитного резонанса, основаны на измерении эффекта поглощения колебаний энергии электромагнитного поля при определенной частоте элементарными частицами парамагнитных веществ. Радиоспектрометрические методы обладают высокой точностью и избирательностью.

Оптические методы основаны на измерении светового излучения, взаимодействующего с испытуемой средой, или ею испускаемого, в диапазоне длин волн, соответствующих ультрафиолетовой, видимой и инфракрасной частям спектра. В зависимости от измеряемого свойства света оптические методы разделяются на спектрофотометрич., рефрактометрич. и поляриметрические. Сущность спектрофотометрич. методов заключается в измерении интенсивности излучения, испускаемого или поглощаемого испытуемой средой в различных участках спектра. Посредством рефрактометрич. и интерферометрич. методов измеряется показатель преломления среды. Поляриметрические методы основаны на измерении угла вращения плоскости поляризации света, проходящего через испытуемую жидкость. Для естественно-активных веществ угол поворота плоскости поляризации $\varphi = [\alpha]dC$, где $[\alpha]$ — постоянная вращения, характеризующая природу растворенного вещества; d — толщина слоя раствора; C — концентрация активного вещества. Метод естественного вращения плоскости поляризации (сахариметрия) практически используется для измерения концентрации сахара, а также ряда др. органич. веществ в растворах. В магнитооптич. методе измеряется угол вращения плоскости поляризации света в веществе под воздействием магнитного поля: $\varphi = \varrho lH$, где ϱ — постоянная Верде, различная для разных веществ; l — длина пути света в веществе; H — напряженность магнитного поля.

Магнитные методы (магнитомеханические, магнитоэффузионные, термомагнитные), а также т е п л о в ы е (термокондуктометрич., термохимич., абсорбционные) получили преимущественное использование для измерения физич. свойств веществ в газообразном состоянии (см. *Газоанализ*).

Методы непосредственного измерения физических свойств среды не селективны (кроме спектроскопического). Для повышения избирательности применяют разделение сложной смеси на более простые, состав к-рых измеряют, а также — комбинированные методы анализа. Последние основаны на автоматич. вычислении концентрации k компонентов по значениям измеренных $k-1$ физич. параметров смеси. Вычислит. устройство решает систему k уравнений:

$$x_1 = F_1(C_1, C_2, \ldots, C_k)$$
$$x_2 = F_2(C_1, C_2, \ldots, C_k)$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots$$
$$x_{k-1} = F_{k-1}(C_1, C_2, \ldots, C_k)$$
$$C_1 + C_2 + \ldots + C_k = 1.$$

где: $C_1, C_2, ..., C_k$ — концентрации компонентов смеси; $x_1, x_2, ..., x_k$ — физич. свойства смеси; $F_1, F_2, ..., F_k$ — виды функцион. зависимостей каждого из параметров от состава смеси. Если число компонентов смеси превышает количество параметров, к-рые возможно измерить, более чем на 1, производится 2-кратное или 3-кратное измерение одних и тех же параметров при различных условиях (темп-ре) или при разбавлении смеси определ. порциями одного из компонентов. Измеряемые физич. свойства смеси должны выбираться так, чтобы зависимости $F_1, F_2, ..., F_k$ были различны по своему характеру.

Комбинированные методы практически используются для контроля состава смесей с числом компонентов не более 3. Различное сочетание перечисленных методов анализа состава жидкостей может привести и приводит к появлению большого числа новых методов.

Лит.: Кулаков М. В., Щенкин С. И., Автоматические контрольно-измерительные приборы для химических производств, М., 1961; Фиалко Г. М., Автоматизация оборудования для производства серной кислоты, М.— Свердловск, 1961; Турчин А. М., Электрические измерения неэлектрических величин, 3 изд., М.— Л., 1959; Делахей П., Новые приборы и методы в электрохимии, пер. с англ., М., 1957; Применение спектроскопии в химии, пер. с англ., М., 1959; Арутюнов О. С., Ицкович В. А., Приборы и средства автоматизации, в сб.: Автоматизация химических производств и новые средства автоматизации, сб. 2, М., 1961; Попов Р. Б., Автоматизация анализов многокомпонентных растворов, в сб.: Автоматизация химических производств, в. 1—2, [М.], 1960; Olive Th. R., Danatos St., Guide to process instrument elements, «Chem. Engng», 1957, v. 64, № 7, p. 287—320; Shain I., Huber C. O., Automatic titrator based on constant current. Potentiometric titrations, «Analyt. Chem.», 1958, v. 30, № 7, p. 1286; Malmstadt H. V., Vassallo D. A., Automatic derivative potentiometric or spectrophotometric end point detection, там же, 1959, v. 31, № 2, p. 206.

О. С. Арутюнов.

КООРДИНАТА ВХОДНАЯ (input coordinate; coordonnées d'entrée; Eingangskoordinate) — *координата обобщенная*, характеризующая воздействие на *вход* системы или отд. элемента. К. в. может быть регулярной ф-цией времени (известной или неизвестной заранее) или случайной ф-цией.

Р. И. Стаховский.

КООРДИНАТА ОБОБЩЕННАЯ (generalized coordinate; coordonnée généralisée; verallgemeinerte Koordinaten) — величина, определяющая состояние САР в каждый момент времени. Число независимых обобщенных координат наз. числом степеней свободы системы. Напр., самолет имеет 6 степеней свободы, т. к. его движение полностью определяется 6 переменными: тремя координатами центра тяжести и тремя угловыми координатами, описывающими движение самолета относительно центра тяжести.

Лит.: Николаи Е. Л., Теоретическая механика, ч. 1, 19 изд., М., 1958.

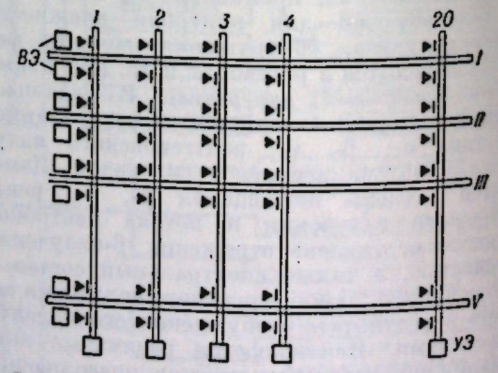
В. Г. Шолохов.

КООРДИНАТНЫЙ САМОПИСЕЦ (variable recorder; enregistreur de coordonnées; Koordinatenschreiber) — автоматический измерительный прибор, графически записывающий в к.-л. координатной системе свои показания в зависимости от времени или др. измеряемой величины. Применяется для измерения и записи различных электрич. и неэлектрич. величин: напряжения, тока, сопротивления, мощности, темп-ры, давления, влажности, перемещения, расхода, концентрации вещества и др. К. с. делятся на одноточечные и многоточечные, т. е. записывающие неск. процессов одновременно. Число точек измерения может достигать неск. десятков. Обычно под К. с. понимают устройство, записывающее в прямоугольных координатах функцион. зависимость между двумя величинами (*XУ*-самописец). В этом случае К. с. имеет 2 канала усиления входных величин и преобразования их в относит. перемещения записывающего устройства и бумаги в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. По способу записи К. с. бывают с непрерывной и точечной записью. Показания записываются острием, карандашом, пером, тепловым или световым лучом, электрич. током, напряжением или печатающим устройством (см. *Регистрация автоматическая*). Запись чаще всего ведется на неподвижной диаграмме. Существуют *XУ*-самописцы с возвратно-поступат. движением бумажной ленты или с вращающимся барабаном.

По принципу измерения бывают К. с. с непосредств. оценкой и с автоматич. компенсацией измеряемой величины. Точность измерения и записей К. с. с автоматич. компенсацией до 0,1—0,2% от области измерения на неподвижной диаграмме и до 0,5—1,0% — на движущейся. Наибольшая частота измеряемой величины, записываемая автоматич. компенсаторами, достигает 1—3 *гц* при ширине диаграммы в 250—300 *мм*. При меньшей ширине диаграммы наибольшая частота может доходить до десятков *гц*. К. с. с непосредств. оценкой, напр. вибраторные осциллографы различных типов, позволяют записывать величины, изменяющиеся с частотой до неск. тысяч *гц*, но при меньшей точности.

А. С. Машницкий.

КООРДИНАТНЫЙ СОЕДИНИТЕЛЬ (circuit selector and switch; sélecteur et commutateur de circuit; Koordinaten-Verbinder) — электромагнитный механизм релейного типа, служащий для выбора и коммутации электрич. цепей. Осн. область применения — автоматич. телефония. К. с. состоит из большого количества контактов, расположенных группами по прямоугольной системе координат и 2 серий электромагнитов: выбирающих — в горизонт. рядах и удерживающих — в вертикальных. При выборе контактной группы сначала должен сработать выбирающий электромагнит (*ВЭ*, рис.), поворачивающий горизонт. рейку, а затем — удерживающий (*УЭ*), поворачивающий вертикальную. Контакты остаются замкнутыми до тех пор, пока *УЭ* не отпустит свой якорь.



Эскизная схема координатного соединителя.

Имеется большое количество выпускаемых пром-стью конструкций К. с. Они обычно состоят из 10—20 вертикальных и 10—12 горизонт. рядов контактных групп по 6—12 замыкающих контактов. Число выбирающих реек вдвое меньше числа выбирающих электромагнитов, т. к. каждая пара выбирающих электромагнитов воздействует на 1 рейку.

И. Е. Декабрун.

КОРНЕВОГО ГОДОГРАФ МЕТОД (root-locus technique; méthode du lieu géométrique des racines; Methode der Aufzeichnung der Trajektorien der charakteristischen Gleichung) — метод исследования динамических свойств САР, основанный на изучении траекторий перемещения корней характеристич. ур-ния на комплексной плоскости (корневой годограф) при изменении к.-л. параметра (чаще всего общего коэфф. усиления системы). Для системы с передаточной ф-цией разомкнутой системы $KW(s)$ характеристич. ур-ние имеет вид $KW(s)=-1$, и корневым годографом является геометрич. место точек на комплексной плоскости s, удовлетворяющих этому ур-нию при различных K. Напр., для $KW(s)=\frac{K}{s(s+1)(s+2)}$ корневой годограф изображен на рис. 1. При $K\geqslant 6$ ветви корневого годографа переходят в правую полуплоскость, т. е. система становится неустойчивой. Применение К. г. м. для синтеза систем заключается в построении корневого годографа при различных параметрах системы и выяснении влияния параметров на расположение полюсов передаточной функции замкнутой системы. По построенным корневым годографам можно вычислить переходный процесс в системе.

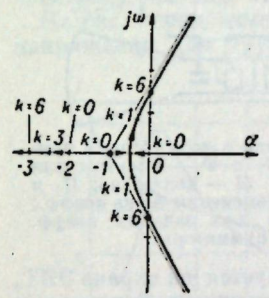


Рис. 1.

Простые правила, позволяющие произвести приближенное построение корневого годографа или определить его вид, предложены Эвансом. Основные из этих правил следующие. 1) При изменении коэфф. усиления от 0 до ∞ корневой годограф начинается в полюсах и заканчивается в нулях передаточной функции разомкнутой системы. 2) Количество ветвей корневого годографа равно порядку характеристич. ур-ния системы, причем количество ветвей, оканчивающихся в бесконечности, равно разности m между порядком знаменателя передаточной функции и порядком числителя. 3) Корневой годограф симметричен относительно веществ. оси. 4) Корневой годограф имеет асимптоты при $K\to\infty$, пересекающие веществ. ось под углами $\pm\frac{180°}{m}$, $\pm\frac{540°}{m}$, $\pm\frac{900°}{m}$, ...; асимптоты пересекаются в точке на веществ. оси с координатой $\alpha=\frac{\Sigma P-\Sigma N}{M_P-M_N}$, где ΣP и ΣN — суммы значений всех конечных полюсов и нулей, M_P и M_N — число конечных полюсов и нулей передаточной функции разомкнутой системы соответственно. 5) Корневой годограф включает участки веществ. оси, расположенные слева от нечетных по порядку возрастания веществ. нулей и полюсов передаточной функции разомкнутой системы. Метод графич. построения корневого годографа основан на том, что он является геометрич. местом точек, в к-рых сумма аргументов векторов, проведенных из нулей, минус сумма аргументов векторов, проведенных из полюсов передаточной функции разомкнутой системы, равна $-180°+$ $+K\cdot 360°$. Метод заключается в построении линий постоянных фазовых углов для отд. элементарных звеньев, суммировании значений углов в отд. точках и выделении тех точек, в к-рых выполняется это соотношение.

Построение корневого годографа по логарифмич. частотным хар-кам основано на следующем. Обычные частотные хар-ки являются отображением мнимой оси $s=j\omega$ на плоскости амплитудной и фазовой хар-к. Если менять коэфф. усиления, т. е. передвигать амплитудную хар-ку вверх или вниз, то можно найти такую величину K_1, при к-рой выполняются одновременно равенства $L(\omega)=0,0$ $(\omega)=-180°$, эквивалентные равенству $KW(s)=-1$. Поэтому величина $\omega=\omega_1$, при к-рой выполняются эти равенства, определяет точку пересечения годографа с мнимой осью (рис. 2). Можно построить отображения др. радиальных прямых, проходящих через начало координат на плоскости s, и аналогично предыдущему определить величины β_2 и K_2. Наклон прямой и величина β_2, полностью определяющие точку корневого годографа, находятся при помощи одних лишь фазовых хар-к; для разметки корневого годографа значениями K необходимо построение и амплитудных хар-к. Методика построения этих хар-к, т. е. обобщенного частотного анализа, облегчается применением шаблонов и номограмм, причем асимптотами обобщенных частотных хар-к служат асимптоты обычных частотных хар-к. Др. способ построения корневого годографа связан с отображением прямых, параллельных мнимой оси.

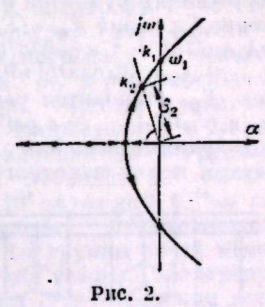


Рис. 2.

Разработана также электронная аппаратура, позволяющая наблюдать корневой годограф в виде перемещения луча на экране осциллоскопа.

Лит.: Траксел Дж., Синтез систем автоматического регулирования, пер. с англ., М., 1959; Кузовков Н. Т., Теория автоматического регулирования, основанная на частотных методах, 2 изд., М., 1960; Evans W. R., Graphical analysis of control systems, «Trans. Amer. Inst. Electr. Engrs. PartII», 1948, v. 67; Теодорчик К. Ф., Траектории корней характеристического уравнения системы третьего порядка при непрерывном изменении свободного члена и максимальная достижимая при этом устойчивость, «Журнал техн. физ.», 1948, т. 18, в. 11; Астерс Н. и Мур Дж., Обобщение метода частотных характеристик, применяемого для исследования систем автоматического регулирования, в сб.: Автоматическое регулирование, пер. с англ., М., 1954; Лернер А. Я., Введение в теорию автоматического регулирования, М., 1958; Nomoto A., Calculation of feedback control systems by log-root-locus, в кн.: Regelungstechnik. Moderne Theorien und ihre Verwendbarkeit, Münch., 1957.

Р. С. Рутман.

КОРНЕИСКАТЕЛЬ (root calculator; appareil de recherche des racines; Einrichtung zur Suche der allgemeinen Lösung) — устройство для решения алгебраич. ур-ний, т. е. для отыскания корней $x_k=\varrho_k e^{j\theta_k}=\varrho_k(\cos\theta_k+j\sin\theta_k)$ ур-ния $w=a_nx^n+a_{n-1}x^{n-1}+...+a_1x+a_0=0$.

Принцип действия К. основан на подборе таких значений ϱ и θ, к-рые обращают w в нуль. Подбор осуществляется либо методом последоват. приближений, либо методом обследования плоскости корней. В первом случае координаты ϱ и θ изменяются поочередно так, чтобы в результате каждого изменения величина w уменьшалась. Величины ϱ и θ, соответствующие нулевому значению w, являются координатами найденного корня. По такому методу работает К., изображенный на рис. 1 [1]. Роторы L_1, L_2, ..., L_n сельсинов соединены редуктором так, что при повороте L_1 на угол θ ротор L_2 поворачивается на 2θ и т. д., ротор L_n поворачивается на угол $n\theta$. Статоры сельсинов питаются от сети 3-фазного тока частоты f. Напряжения с обмоток роторов поступают на функцион. потенциометры $П_1$, $П_2$, ..., $П_n$. Потенциометр $П_1$ — линейный, $П_2$ — квадратичный, $П_n$ — n-й степени. Движки этих потенциометров механически связаны между собой и поворачиваются рукояткой ρ на одинаковые углы. a_n — потенциометры установки коэффициентов. При произвольных положениях рукояток ϱ и θ суммарное напряжение E_w равно $E_w=(E_0+E_1+E_2+\ldots+E_n)=$ $=A_0a_0\sin 2\pi ft+A_1a_1\varrho e^{j(2\pi ft+\theta)}+A_2a_2\varrho^2e^{j(2\pi ft+2\theta)}+$ $+\ldots+A_na_n\varrho^ne^{j(2\pi ft+n\theta)}$. Амплитуда напряжения E_w становится равной нулю, когда $w=$ $=(a_n\varrho^ne^{jn\theta}+\ldots+a_1\varrho e^{j\theta}+a_0)=0$, т. е. когда подобранные значения ϱ и θ являются координатами корня исходного алгебраич. ур-ния.

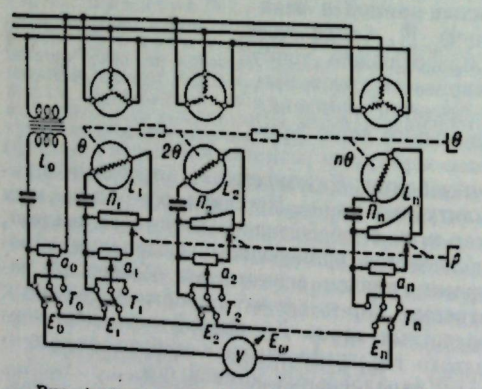


Рис. 1. Схема корнеискателя с сельсинами.

При использовании метода обследования плоскости корней переменной x задают движение по определенной траектории, охватывающей все точки обследуемого участка комплексной плоскости, и фиксируют те значения x, при к-рых w обращается в нуль. Отыскание корней этим методом может производиться полуавтоматически и автоматически. При полуавтоматич. способе переменная x описывает на плоскости корней вокруг начала координат окружность, радиус ϱ к-рой оператор может менять. Такому движению точки x соответствует перемещение точки w на плоскости многочлена по замкнутой траектории — полярной кривой. Оператор изменяет ϱ до тех пор, пока полярная кривая не пройдет через начало координат плоскости w. При автоматич. способе отыскания корней точка x автоматически движется по спирали вокруг начала координат и при этом фиксируются точки, в к-рых w становится равной нулю. Исходя из возможностей физич. реализации, верхним пределом изменения ϱ принимается единица, нижний предел по требованиям точности берется равным 0,1 или 0,5. Для определения корней, модули к-рых не попадают в эти пределы, производится преобразование исходного ур-ния подстановкой $x=kz$. Схема полуавтоматич. К. дана на рис. 2 [4].

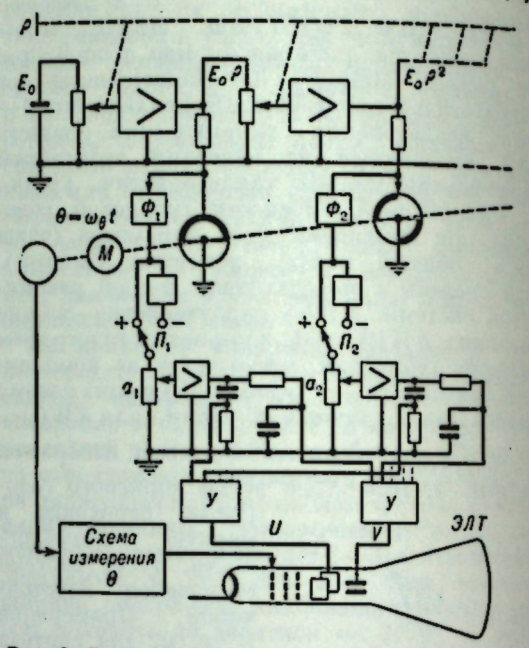


Рис. 2. Схема корнеискателя с модулятором прямоугольных колебаний: $Ф_1$ и $Ф_2$ — фильтры для выделения 1-й гармоники; M — двигатель; $П_1$ и $П_2$ — переключатели для изменения знака коэфф.; a_1 и a_2 — потенциометры для задания коэфф. ур-ния; $У$ — сумматоры.

Полярная кривая образуется на экране ЭЛТ, на горизонтальные и вертикальные пластины к-рой подаются соответственно напряжения $U=\sum_{\nu=0}^{n}a_\nu\varrho^\nu\cos\nu\omega_0t$ и $V=\sum_{\nu=0}^{n}a_\nu\varrho^\nu\sin\nu\omega_0t$, представляющие собой действительную и мнимую части многочлена w. Слагаемые $a_\nu\varrho^\nu\cos\nu\omega_0t$ и $a_\nu\varrho^\nu\sin\nu\omega_0t$ образуются с помощью потенциометров задания модуля, электромеханич. модуляторов, потенциометров задания коэфф. и фазорасщепляющих ячеек. Для определения модуля корня оператор перемещает ручку ϱ до тех пор, пока полярная кривая не пройдет через начало координат. После этого с помощью схемы измерения θ определяется аргумент найденного корня. В автоматич. К. такого типа [2, 5, 6] напряжения $E_0\varrho$, $E_0\varrho^2$... образуются электронными схемами в виде функций времени. Корни появляются в виде светлых точек на экране ЭЛТ, представляющем собой комплексную плоскость корней.

Лит.: 1) Елизаренков Я. А., Электрические схемы для решения алгебраических уравнений общего вида, «Изв. ВЭТА», 1941, т. 24; 2) Михайлов Н. Н., Электрические устройства для решения алгебраических уравнений, «АиТ», 1958, т. 19, № 5; 3) его же, Электронный корнеискатель, М., 1959 (Передовой научно-технич. и производственный опыт, № П-59-7/1. Тема 40); 4) Marshall B. O., The electronic isograph for roots of polynomials, «J. Appl. Phys.», 1950, v. 21, № 4; 5) Glubrecht H., Elektrisches Rechengerät für Gleichungen höheren Grades, «Z. angew. Phys.», 1950, Bd 2, H. 1; 6) Löfgren L., Analog computer for the roots of algebraic equations, «Proc. I.R.E.», 1953, v. 41, № 7.

Н. Н. Михайлов.

КОРОНА ОБРАТНАЯ (reverse corona; couronne inverse; rückwärtige Koronaerscheinung) — явление коронного разряда у осадит. электрода. Происходит в аппаратах для

электрич. очистки газов — *электрофильтрах* — при улавливании изолирующей пыли. Появление К. о. ухудшает очистку газа, уменьшает пробивное напряжение электрофильтра и увеличивает ток. Опытом установлено, что мешающие эффекты исчезают, если осевший слой пыли сделать проводящим. Это достигается увлажнением газа или стенок электрофильтра.

Вредное действие К. о. связано с нарушением униполярности потока ионов в электрофильтре, с затруднением зарядки частиц и удержания их на осадит. электроде. Решающее значение для появления К. о. имеет проводимость слоя вещества и лишь второстепенное — структура поверхности слоя пыли: ее гладкость или шероховатость.

Механизм возникновения К. о. определяется наличием каналов в диэлектрическом слое, в которых вследствие различия диэлектрич. постоянных воздуха и слоя пыли увеличивается напряженность электрич. поля. Величина поля может быть достаточной для возникновения ионизации толчком, а в результате непрерывного отвода зарядов по каналу к электроду явление это делается устойчивым.

На рис. 1 дано изменение тока и пробивного напряжения для трубчатого электрофильтра

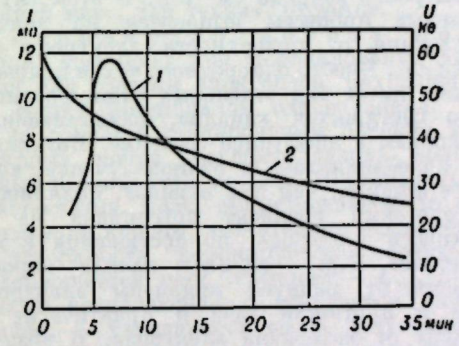


Рис. 1. Хар-ки электрофильтра в зависимости от времени его работы (при комнатной темп-ре): *1* — ток; *2* — пробивное напряжение.

за 35 мин. его работы. Кривая тока имеет максимум, свидетельствующий о том, что К. о. возможна при наличии сухой непроводящей пыли. Кривые тока К. о. электрофильтра при различных темп-рах (рис. 2) также имеют максимумы. Объяснить существование этих максимумов тока можно, напр., полагая, что ток К. о. является результатом структуры слоя в том смысле, что по мере утолщения слоя пыли, в конце концов, все поры заполняются и образуется гладкая сплошная поверхность. Одновременно увеличивается сопротивление слоя, за счет падения напряжения на к-ром уменьшится напряженность поля в зоне оси. коронирующего электрода. Происходит также увеличение числа очагов К. о. с уменьшением интенсивности каждого из них. Следовательно, существует нек-рая критич. толщина слоя, при к-рой возникает максимальная К. о. Механизм К. о. подлежит еще более тщательному изучению.

Для удержания частиц на осадит. электроде необходим нек-рый остаточный заряд на них. Расчеты показывают, что на величину и знак остаточного заряда влияет сопротивление слоя частиц на осадит. электроде. Если остаточный заряд равен нулю, то, вообще говоря, частица не может быть удержана на электроде. Однако весьма большой остаточный заряд

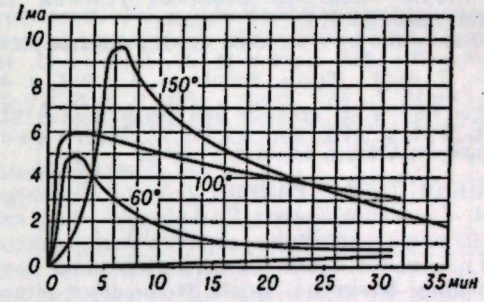


Рис. 2. Ток обратной короны при различных темп-рах.

неблагоприятно сказывается на очистке газа. В этом случае у слоя частиц, находящихся на электроде, возникает настолько сильное собственное поле, что новые частицы с зарядом того же знака не могут достаточно приблизиться к осадит. электроду и потому не могут быть уловлены из газа. Вместе с тем под действием сильного поля на осадит. электроде возникает К. о., к-рая еще более ухудшает очистку газа. Частицы улавливаемых веществ можно подразделить в зависимости от их сопротивления на 3 группы: 1) с сопротивлением, меньшим 10^4 *ом·см*; 2) с сопротивлением от 10^4 *ом·см* до $2\cdot10^{10}$ *ом·см* и 3) с сопротивлением, превышающим $2\cdot10^{10}$ *ом·см*. Частицы 1-й группы почти мгновенно отдают свой заряд осадит. электроду; они могут быть сорваны с него потоком газа и унесены из электрофильтра. Лучше всего улавливаются в электрофильтрах частицы 2-й группы. Улавливание частиц высокого сопротивления (3-я группа) сопряжено с затруднениями, главное из к-рых заключается в появлении К. о. у осадит. электрода. Для устранения К. о. и тем самым для обеспечения высокого кпд электрофильтра необходимо воздействовать на величину сопротивления слоя вещества на осадит. электроде. Это достигается изменением темп-ры и влажности очищаемого газа. На рис. 3 даны величины кпд электрофильтра в зависимости от влажности газа при различных температурах. Кривые пересекаются в точке A, соответствующей небольшой влажности (ок. 7%). Влево от точки A кпд остаются в пределах 50—60%, т. е. ненамного превышают кпд механич. очистки газа при выключенном напряжении (49%). Фактически в этой области электрофильтр перестает работать из-за К. о., о чем свидетельствует увеличение тока до 3-кратной величины. В то же время при комнатной темп-ре и влажности газа кпд достигает 92% (кривая *1*, рис. 3) ($t=16°$, влажность $W=1{,}5\%$, $\varrho=1{,}25\cdot10^{10}$ *ом·см*). Вправо от точки A наблюдается рост кпд электро-

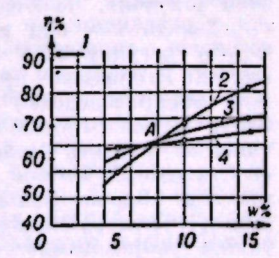


Рис. 3. Кпд электрофильтра, работающего на золе подмосковного угля в зависимости от влажности и темп-ры газа: *1* — кпд при $\varrho=1$, $25\cdot10^{10}$ *ом·см* и $t=16°$; *2* — кпд при $t=120$—$130°$; *3* — кпд при $t=150°$; *4* — кпд при $t=180°$.

фильтра в зависимости от влажности газа при всех принятых темп-рах. Т. о., по мере уменьшения сопротивления слоя вещества на осадит. электроде исчезают условия для возникновения К. о.

Лит.: Жебровский С. П., Электрофильтры, М.— Л., 1950; Lowe H. J., Lucas D. H., «Brit. J. Appl. Phys.», Suppl. № 2, 1953, p. 40; White H. J., «Air Repair», 1955, v. 5, № 1, p. 37; Schmidt W. A., «Industr. and Engng Chem.», 1949, v. 41, № 11, p. 2428; Sproull W. T., Nakada J., там же, 1951, v. 43, № 6, p. 1350.

С. П. Жебровский.

КОРОННЫЙ РАЗРЯД (corona discharge; effet couronne; Korona-Entladung) — вид стационарного электрич. разряда в газе достаточной плотности, возникающего в сильном неоднородном электрич. поле. Ионизация и возбуждение нейтр. частиц газа лавинами электронов локализованы в огранич. зоне (чехол короны или зона ионизации — ЗИ) сильного электрич. поля вблизи электрода с малым радиусом кривизны. Бледноголубое или фиолетовое свечение газа в ЗИ по аналогии с ореолом солнечной короны дало повод к названию данного вида разряда. Помимо излучения в видимой, ультрафиолетовой (гл. обр.), а также в более коротковолновой частях спектра, К. р. сопровождается движением частиц газа от коронирующего электрода — т. н. «электрическим ветром», шелестящим шумом, иногда радиоизлучением, химич. реакциями (напр., образованием озона и окислов азота воздуха).

За пределы ЗИ во внешнюю зону (ВЗ) движется поток носителей заряда, знак к-рого совпадает со знаком заряда коронирующего электрода. Объемный заряд ВЗ, имея во время горения короны тот же знак, что и заряд на коронирующем электроде, тормозит развитие процессов ионизации, ослабляя в среднем поле вблизи коронирующего электрода в ЗИ за счет усиления его во всей ВЗ. При любом напряжении на электродах (большем, чем напряжение начала короны, и меньшем, чем напряжение пробоя) объемный заряд ВЗ имеет такую величину и распределение, при к-рых градиент поля у поверхности коронирующего электрода остается практически неизменным и по величине близким к градиенту начала короны. Исходя из этой отличит. особенности, К. р. можно определить как вид разряда, интенсивность к-рого регулируется собств. объемным зарядом. Вторичным процессом, обеспечивающим воспроизводство электронных лавин в ЗИ и тем самым стационарность К. р., сейчас склонны считать ионизирующие излучения возбужденных атомов и молекул газа. При положит. короне (движение электронных лавин к коронирующему электроду) предполагается образование нового электрона в результате поглощения кванта излучения в газе вблизи условной внешней границы ЗИ. При отрицат. короне (движение электронных лавин от коронирующего электрода) новый электрон освобождается в результате фотоэмиссии с поверхности электрода. В разреженном воздухе, в нек-рых др. газах и при весьма большой кривизне электродов возможны иные вторичные процессы. Особенности в механизме воспроизводства лавин и связанная с ними разница в распределении ионов и электронов в ЗИ определяют нек-рые внешние различия в К. р. разной полярности [2]. Для отрицат. короны характерны локализация короны в виде отдельных более или менее однородно распределенных по поверхности электрода светящихся очагов; бо́льшая, чем при положит. короне, зависимость градиента начала короны от состояния поверхности электрода; разрывность во времени процессов ионизации и ВЧ колебания тока (радиоизлучение с почти однородным частотным спектром до нескольких *Мгц*). Для положит. короны характерны однородный светящийся чехол, тесно прилегающий к поверхности электрода, отсутствие ВЧ колебаний в токе и отсутствие радиоизлучения, а также нек-рые др. особенности.

Распределение градиентов поля К.р. в пределах ЗИ мало отличается (в среднем) от такового в неионизов. газе (электростатич. распределение). Поэтому нет оснований считать чехол короны хорошо проводящим слоем, как бы увеличивающим диаметр провода.

В отличие от описанной формы К. р. (иногда наз. ультракороной или короной с однородным чехлом) при уменьшении степени неоднородности поля (увеличение радиуса кривизны электрода свыше нескольких *мм*), а также с повышением напряжения К. р. приобретает иную, стримерную (иногда факельную или кустовую) форму (о механизме стримерного разряда см. [2]). В этом случае активные процессы выносятся на значит. расстояния от поверхности электрода (десятки *см*). Вместо однородного чехла положит. корона имеет вид отдельных отшнурованных ярко светящихся каналов, размывающихся по концам в диффузное свечение. Возникают ВЧ колебания тока и радиоизлучение, часто более мощные, чем при отрицат. полярности.

Пороговый градиент потенциала на поверхности электрода, по достижении к-рого возникает К.р.— градиент начала короны, зависит от радиуса кривизны электрода, рода и плотности газа и практически не зависит от материала электрода. В воздухе (при $\delta=1$) градиент начала короны лежит в пределах от десятков до нескольких сотен (очень тонкие провода) *кв/см*. В практич. расчетах используют эксперимент. данные для градиента начала короны $E_н$ в зависимости от радиуса кривизны электрода. Для цилиндрич. проводов хорошо оправдывается ф-ла Пика [3], аппроксимирующая опытные данные:

$$E_н = 30{,}3\delta\left(1+\frac{0{,}298}{\sqrt{r_0\delta}}\right) \text{ кв/см}, \qquad (1)$$

где r_0— радиус провода (*см*), δ — плотность воздуха, равная единице при 760 *мм рт. ст.* и 20°. Хотя (1) имеет лишь опытное подтверждение, зависимость E от δ вполне соответствует строгим физич. представлениям о т. н. условии подобия процессов разряда. При наличии неровностей, а также загрязнений или посторонних вкраплений на поверхности электрода становлению т. н. общей короны, происходящему при достижении $E_н$ на всей поверхности электрода, предшествует появление т. н. «местной короны» в виде отдельных очагов при значит. более низком среднем градиенте. Длительная, до нескольких десятков часов, тренировка электродов под повыш. напряжением (интенсивная корона) способствует удалению неоднородностей и повышению градиента начала местной короны до уровня градиента начала общей короны (т. н. старение проводов). Влияние шероховатостей поверхности, конструктивных особенностей (витые провода), наличие осадков на проводах учитываются коэфф., снижающими $E_н$. Так, для витых проводов экспериментально найдено значение коэфф. 0,82—0,85.

При общности осн. функции заряда ВЗ детальная его структура, распределение плотности ионов и градиентов поля, определяющих и вид вольтамперной хар-ки короны, зависят от рода напряжения на электродах и их конфигурации. Теоретически поле ВЗ описывается системой ур-ний: Пуассона, непрерывности тока, ур-ния рекомбинации. Одно из краевых условий вытекает из осн. особенности К. р.— неизменности напряженности поля у поверхности коронирующего электрода, т. н. критич. градиента — $E_{кр}$. Упрощающие предположения: 1) эмиссия ионов непосредственно с поверхности коронирующего электрода, т. е. исключение из рассмотрения особенностей процессов в ЗИ; 2) наличие только ионов во ВЗ и постоянство их подвижности и коэфф. рекомбинации; 3) сохранение формы силовых линий электростатич. поля. Эксперимент. исследования полей коронирующих электродов зондами показывают, что указанные допущения оправданы, по крайней мере, для технич. расчетов.

Унипо́лярная корона пост. тока возникает при коронировании электрода или системы электродов, находящихся под общим потенциалом одного знака. Вся ВЗ заполняется стационарным потоком униполярных ионов, осуществляющих конвективный перенос тока короны. Первоначальное электростатич. поле, существовавшее до возникновения короны, значительно искажается. У поверхности коронирующего электрода поддерживается пост. градиент — $E_{кр}$, практически совпадающий с градиентом начала короны. С указанными выше допущениями задача о поле и вольтамперной хар-ке униполярной короны решается для одномерных полей достаточно строго, в др. случаях — приближенно [1, 4, 5]. При слишком малых межэлектродных расстояниях может сказаться (допущение 2) непостоянство подвижностей — k во ВЗ (старение положит. ионов, влияние электронов — см. [6]). В условиях поля короны на достаточном удалении от коронирующего электрода имеют место подвижности, соответствующие норм. ионам воздуха: $k^+=1{,}4$, $k^-=1{,}8$ ($\frac{см^2}{в\cdot сек}$) [6]. Картина поля ВЗ для системы электродов провод — плоскость дана на рис. 1. Об исследовании поля ВЗ, включая нек-рые спец. случаи, см. [1, 4, 5, 9].

При развитой короне в значит. части ВЗ, примыкающей к некоронирующему электроду, устанавливается практически однородное поле с пост. градиентом, равным $A\sqrt{j_a r_0/\varepsilon_0 k}$ (*в/см*), где j_a— плотность тока у коронирующего электрода ($a/см^2$); r_0— радиус коронирующего электрода (*см*); k — подвижность ионов ($\frac{см^2}{в\cdot сек}$). Коэфф. A зависит от формы электродов: $A=\sqrt{\frac{2}{3}\frac{r_0}{x}}$ —концентрич. сферы; $A=1$—концентрич. цилиндры; $A\cong\sqrt{2\pi}$ —провод —плоскость, центр. силовая линия [4]. Поскольку j_a приблизительно пропорционально подвижности k, то напряженность поля ВЗ практически не зависит от полярности короны так же, как и плотность объемного заряда, к-рая в области однородного поля пропорциональна выражению $\sqrt{j_a r_0/\varepsilon_0 k}$. Коэфф. пропорциональности для плотности объемного заряда (*к/см*³)

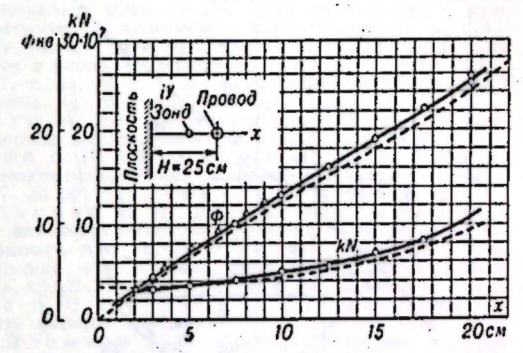


Рис. 1. Распределение плотности ионов (kN) и потенциала поля Ф при положит. короне (сплошная линия — измерено, пунктирная — вычислено).

в случае цилиндров составляет $\frac{\varepsilon_0}{x}$, а для сфер $\frac{\varepsilon_0}{x}\sqrt{\frac{3}{2}\frac{r_0}{x}}$. Т. о., плотность объемного заряда не является неизменной в области однородного поля, и ее изменение зависит от конфигурации электродов (спадает с удалением от коронирующего электрода как $\sim 1/x$). Объемный заряд поля ВЗ униполярной короны используется в аппаратах электронно-ионной технологии для заряда взвешенных в газе частиц. Усиление поля во ВЗ служит для повышения скорости движения заряж. частиц.

Биполя́рная корона пост. тока возникает, когда к двум или нескольким электродам малого радиуса кривизны приложены пост. напряжения разного знака. К. р., происходящие одновременно на электродах разных полярностей, взаимодействуют в пределах ВЗ и отчасти в ЗИ, что и определяет особенности биполярной короны. ВЗ характеризуется наличием 2 встречных потоков разнополярных ионов, взаимно ослабляющих экранирование ими поля в ЗИ. Роль регулятора в биполярной короне играет рекомбинация ионов во ВЗ, ограничивающая конечным стабильным состоянием взаимное усиление 2 униполярных разрядов. С убылью рекомбинировавших ионов в областях ВЗ, примыкающих к каждому из коронирующих электродов, образуется избыток объемного заряда, униполярного с данным электродом, обеспечивающий ограничение $E_{кр}$ на проводе. Только в ср. зоне между электродами результирующая плотность объемного заряда близка к нулю при $|\varrho^+|\approx|\varrho^-|$. Поддержание пост. градиента $E_{кр}$ у коронирующих электродов зависит от разности плотностей зарядов $|\varrho^+|-|\varrho^-|$, в силу чего равновесие заряда каждого из проводов и заряда ВЗ достигается при бо́льших абс. значениях ϱ^+ и ϱ^-, чем в униполярной короне. Ток биполярной короны чисто конвективный, но переносится ионами обоих знаков, т. е. зависит от суммы $(|\varrho^+|+|\varrho^-|)$, поэтому при прочих равных условиях интенсивность (ток, плотность ионов) биполярной короны выше, чем униполярной. Примерная картина поля и объемных зарядов биполярной короны при 2 проводах дана

на рис. 2. При развитой короне поле ВЗ также становится однородным на значит. части межэлектродного расстояния в области, прилегающей к центр. силовой линии. Др. стороной взаимодействия разрядов является

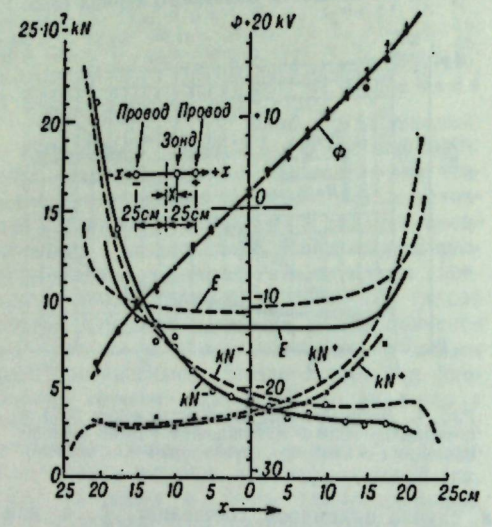


Рис. 2. Биполярная корона: распределение потенциала, напряженности поля и плотности ионов (kN) по центральной силовой линии (U=70 кв, I=34,5 ма/м); сплошные линии — измерено, пунктирные — вычислено.

проникновение встречных ионов в ЗИ каждого из электродов. Распад внешних отрицат. ионов в ЗИ положит. провода с освобождением электронов приводит к снижению $E^{+}_{кр}$, в силу чего при биполярной короне $E_{кр}=\frac{E^{+}_{кр}+E^{-}_{кр}}{2}$ оказывается ниже градиента начала короны. Снижение $E_{кр}$ усиливает также интенсивность биполярной короны по сравнению с униполярной. О поле биполярной короны на проводах см. [7]. Возникновение биполярной короны возможно и в устройствах, использующих униполярную корону, если на нормально некоронирующем заземл. электроде в процессе эксплуатации образуются значит. неровности (острые выступы и т. п.). Концентрация ионов униполярной короны у таких выступов способна при нек-рых условиях вызвать усиление поля, достаточное для вспышки *короны обратной* с последующим взаимным усилением разрядов. Явление обратной короны имеет место также в электрофильтрах.

Переходная униполярная корона возникает при первом приложении перем. напряжения или при питании аппаратов выпрямленным пульсирующим напряжением (т. н. полуволновое питание с малым углом замыкания). В поле электродов в этих случаях можно схематически различить 3 зоны: 1-я зона, еще не занятая объемным зарядом, где течет только ток смещения — $\frac{\partial}{\partial t}\varepsilon_0\bar{E}$; 2-я — зона движения ионов. Протекающий здесь ток имеет 2 составляющие: конвективный ток $\overline{\rho v}$ и ток смещения; 3-я зона — зона ионизации, в части к-рой при $E_{кр}$=const имеет место только конвективный ток.

Размер области ВЗ, занятой объемным зарядом, зависит от времени, протекшего с момента достижения у одного из электродов градиента начала короны или соответствующего ему заряда q_0. В общем случае плотность объемного заряда каждого движущегося слоя ионов во 2-й зоне изменяется со временем, как

$$\frac{1}{\rho}=\frac{k}{\varepsilon_0}(t-\tau)+\frac{1}{\rho_0}. \qquad (2)$$

При больших временах движения $t-\tau\geqslant 10^{-3}$ сек. плотность заряда в слое перестает зависеть от исходной плотности ρ_0, с к-рой данный слой стартовал при $t=\tau$ из ЗИ. На рис. 3 даны кривые распределения объемного заряда в цилиндре диаметром 80 *см* с проводом диаметром 0,9 *мм* [8].

Корона перем. тока возникает при приложении к системе электродов перем. напряжения. Процессы во ВЗ имеют здесь ряд общих черт с движением волны ионов и соотношением тока конвективного и тока смещения в случае переходной униполярной короны и взаимодействием потоков разнополярных ионов в поле биполярной короны. На рис. 4 показаны траектории характерных слоев волны ионов в поле короны перем. тока [10]. Вопреки распростран. представлениям, только часть ионов, сравнительно поздно стартовавших (траектории $C-B$) после вспышки короны ($\omega t=0$), имеет возможность вернуться на провод с переменой знака напряжения. Ионы фронтальной части (траектории $B-A$), совершая возвратно-поступат. движение, одновременно дрейфуют от коронирующего электрода. Т. о., значит. часть межэлектродного пространства вплоть до некоронирующего электрода заполняется ионами обеих полярностей, плотность к-рых из-за рекомбинации непрерывно снижается. Поэтому экранирующий эффект объемного заряда ВЗ в основном определяется в каждый данный момент зарядом ионов созданных при 2 ближайших разнополярных вспышках короны, что, как и при биполярной короне, предполагает достаточно мощный объемный заряд.

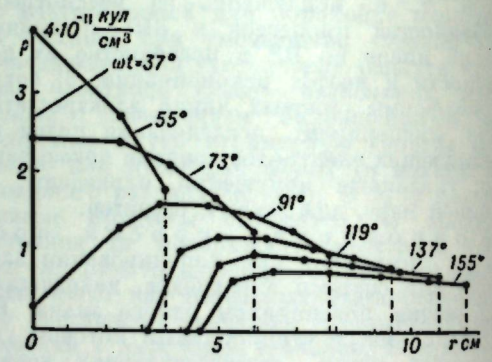


Рис. 3. Распределение объемного заряда ионов в поле переходной короны.

К моменту вспышки короны новой полярности ближайшие окрестности электрода свободны от ионов предыдущей полярности (траектория C), т. е. вспышка происходит в свободном от ионов газе. Вместе с тем в более удаленной части поля имеется еще достаточно сильный избыточный заряд нерекомбинировавших ионов предыдущего полупериода, знак к-рого противоположен знаку заряда на проводе. Этот остаточный результирующий заряд усиливает поле у провода, благодаря чему вспышка короны в установившемся

процессе происходит при мгновенном напряжении U_i, меньшем, чем напряжение начала короны $U_н$, подсчитанное в соответствии с

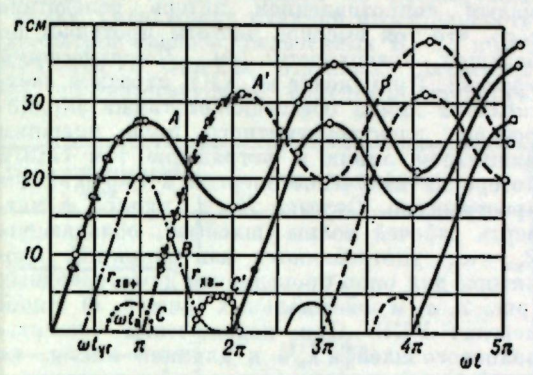


Рис. 4. Траектории движения слоев волны ионов в поле короны перем. тока: A — траектория фронта; B — пограничная траектория; C — траектория хвоста.

(1). Приближенно этот эффект учитывается [3] соотношением

$$U_i=2U_н-U_м, \qquad (3)$$

где $U_м$ — амплитуда напряжения.

При синусоид. напряжении на электродах потенциал пространства в пределах ВЗ из-за искажающего влияния движущегося объемного заряда оказывается несинусоидальным с сильным проявлением 3-й и 5-й гармоник, в особенности на небольшом удалении от коронирующего электрода [11]. Как элемент электрич. цепи корона перем. тока условно может быть замещена (для первых гармоник тока и напряжений) комбинацией нелинейной проводимости и емкости. Определение параметров проводимости и емкости схемы замещения дано в [12]. Увеличение емкости коронирующего провода связано с упреждением тока по фазе, обусловленным «преждевременной» вспышкой короны по указанной выше причине, но никак не увеличением диаметра провода за счет «хорошо проводящего чехла», как иногда полагают. Для гармонич. состава тока короны характерно значит. содержание 3-й (до 30%) и 5-й (7—10%) гармоник [12].

До сих пор отсутствуют удовлетворительные теоретич. описания поля ВЗ короны переменного тока и ее хар-к на основе решения исходной системы дифференц. ур-ний. Для практических расчетов наилучшие результаты дают обобщенные критериальные соотношения, выводимые анализом исходных уравнений на основе общих методов теории подобия [13].

К. р. в воздухе находит применение в аппаратах *электронно-ионной технологии* в качестве осн. средства сообщения электрич. заряда взвеш. в газе частицам, а также для усиления электрич. поля в зоне движения и осаждения частиц. Нелинейность вольтамперной хар-ки К. р. в инертных газах используется в стабилизаторах высокого напряжения, питающих физич. приборы. Осн. задача исследований К. р. в связи с его практич. применением состоит в изыскании путей его интенсификации и управления хар-ками. Применительно к линиям электропередачи высокого напряжения возникает задача ограничения К. р. на проводах как вредного явления (потери энергии, радиопомехи).

Лит.: 1) Капцов Н. А., Коронный разряд, М., 1947; 2) Мик Дж., Крэгс Дж., Электрический пробой в газах, пер. с англ., М., 1960, гл. 3; 3) Пик Ф., Диэлектрические явления в технике высоких напряжений, пер. с англ., М.— Л., 1934; 4) Попков В. И., К теории униполярной короны постоянного тока, «Э-во», 1949, № 1; 5) его же, Электрическое поле между коронирующими электродами, там же, 1938, № 7; 6) его же, О подвижности ионов в условиях коронного разряда, «ДАН СССР», 1947, т. 58, № 6; 7) его же, Теория биполярной короны на проводах, «ИАН. ОТН», 1948, № 4; 8) его же, Электрическое поле при переходной униполярной короне, там же, 1954, № 7; 9) Жебровский С. П. и Попков В. И., Корона при постоянном напряжении в электрофильтрах, «Э-во», 1937, № 20; 10) Левитов В. И., Ляпин А. Г. и Попков В. И., Экспериментальное исследование движения объемного заряда в поле короны переменного тока, «ИАН. ОТН», 1957, № 1; 11) их же, Зондовые исследования поля короны переменного тока, «ИАН. Сер. физ.», 1959, т. 23, № 8; 12) Левитов В. И. и Попков В. И., О реактивном эффекте короны переменного тока, «Э-во», 1956, № 7; 13) Левитов В. И., Применение теории подобия при исследовании короны переменного тока, «ИАН. ОТН», 1956, № 12.

В. И. Попков.

КОРОНЫ ЗАПИРАНИЕ (corona locking; verrouillage de couronne; Korona—Sperrung) — уменьшение тока коронного разряда при неизменной разности потенциалов, приложенной к электродам. Уменьшение тока до значений, не отмечаемых техническими приборами, наз. полным К. з. в отличие от частичного запирания, характеризующегося лишь нек-рым уменьшением тока разряда. К. з. происходит в тех случаях, когда объемный заряд внешней зоны в существ. части образуется малоподвижными заряженными частицами. Это наблюдается, напр., при оседании части ионов, созданных в зоне ионизации, на мелкодисперсной пыли или каплях тумана, взвешенных в газе. При неизменном экранирующем эффекте заряда внешней зоны суммарная подвижность носителей заряда существенно снижается, что в соответствии с ур-нием вольтамперной хар-ки короны должно вести к уменьшению тока короны при неизменном напряжении на электродах.

Строгая теория этого явления отсутствует. Весьма приближ. решение для вольтамперной хар-ки короны с учетом заряда пыли дано В. Дейчем [2].

Изменение концентрации частиц в газе, как правило, вызывает изменение силы тока: увеличение его при уменьшении концентрации частиц и наоборот. Очистка газа от примесей не прекращается при К. з., но степень очистки снижается. Для повышения качества очистки требуется повышение напряжения, если это возможно, или снижение скорости течения газа, т. е. количества вносимых частиц.

К. з. может иметь место и в случае осуществления коронного разряда в объеме (потоке) газа, вмещающем значительное количество мелких частиц, несущих электрические заряды, приобретенные вне короны, и совпадающие по знаку со знаком короны (например, заряды статич. электричества, приобретенные частицами в процессе их движения по газоходам).

К. з. возможно также при накоплении на осадит. электроде слоя частиц твердых или жидких веществ, отличающихся высоким удельным электрич. сопротивлением. В этом случае осажденный слой приобретает значит. заряд, однозначный с короной, поскольку стекание зарядов частиц затруднено в связи с высоким значением удельного электрич. сопротивления

слоя. При определ. условиях (влажность, темп-ра и др.) удельное электрич. сопротивление слоя частиц может быть весьма большим и достигать 10^{15}—10^{17} *ом·см*. По мере накопления заряда слой будет оказывать непрерывно увеличивающееся экранирующее действие, т. е. ослаблять поле в зоне ионизации, вызывая частичное или полное запирание. Описываемый процесс может происходить лишь при отсутствии *короны обратной*.

Лит.: 1) Жебровский С. П., Электрофильтры, М.— Л., 1950; 2) Deutsch W., «Ann. Physik», 1933, Bd 16, № 5; 1936, Bd 26, № 3.

М. А. Корнев.

КОРОТКОЗАМКНУТАЯ ЛИНИЯ (short-circuited line; ligne court-circuitée; kurzgeschlossene Leitung) — отрезок *длинной линии*, замкнутый накоротко на конце. В К. л. происходит полное отражение прямой волны от конца линии, в результате чего устанавливается чистая стоячая волна с величиной коэфф. стоячей волны КСВ=∞ (см. *Волна стоячая*). В точке к напряжение равно нулю (узел), а ток достигает максимума (пучность). Входное сопротивление К. л., не содержащей активных потерь, носит реактивный характер:

$$Z_{вх} = jW \operatorname{tg}\frac{2\pi}{\lambda} l = f(W, \lambda, l),$$

где W — волновое сопротивление длинной линии, l — длина линии, λ — рабочая длина волны, $j=\sqrt{-1}$. Для данной линии с волновым сопротивлением W и рабочей длиной волны λ входное сопротивление отрезка К. л. является ф-цией ее длины (рис. 1). На участке изменения длины линии l от нуля до $l=\lambda/4$ величина

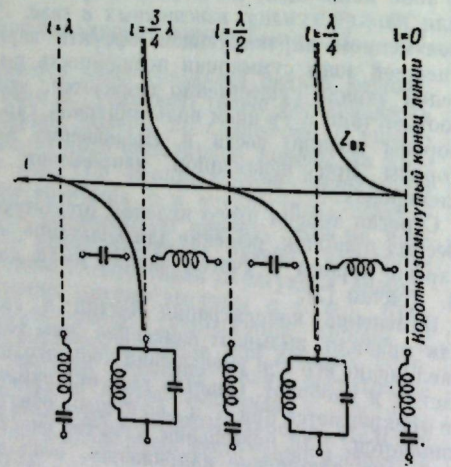


Рис. 1.

входного сопротивления К. л. изменяется от нуля до бесконечности и носит индуктивный характер. При дальнейшем изменении l от $\lambda/4$ до $\lambda/2$ К. л. ведет себя как емкостное сопротивление, изменяющееся от бесконечности до нуля. Увеличение l от $\lambda/2$ до $3\lambda/4$ приводит к изменению $Z_{вх}$ от нуля до бесконечности при индуктивном его характере. В точках $l=0$, $l=\lambda/2$ и т. п., где $Z_{вх}=0$, К. л. можно рассматривать как последовательный колебат. контур, а в точках $l=\lambda/4$, $3\lambda/4$ и др., где $Z_{вх}=\infty$, — как параллельный колебат. контур (см. *Резонатор коаксиальный*).

К. л. с длиной, кратной четверти рабочей длины волны, применяются в качестве индуктивности в колебат. контурах *генераторов с самовозбуждением* и *генераторов с независимым возбуждением*, работающих в диапазоне УКВ (на метровых и дециметровых волнах). Индуктивность, образованная К. л., обладает малым сопротивлением потерь вследствие того, что ток высокой частоты протекает по большой поверхности (см. *Поверхностный эффект*). Применение на УКВ отрезков *коаксиальных линий* обеспечивает также экранирование электромагнитного поля внешним цилиндром линии и устранение тем самым потерь на излучение энергии в окружающее пространство. Отрезки К. л. длиной в четверть рабочей волны (шлейфы), обладающие $Z_{вх}=\infty$, употребляются как металлич. изоляторы для опор проводников двухпроводных (рис. 2, *а*) и коаксиальных (рис. 2, *б*) линий передач УКВ. При подключении четвертьволнового шлейфа $\lambda_0/4$ к длинной линии, по к-рой распространяется волна λ_0, в точках *a* и *b* не будет происходить замыкания или ответвления ВЧ энергии на землю. В этих точках входное сопротивление шлейфа для ВЧ энергии равно бесконечности, хотя оба провода

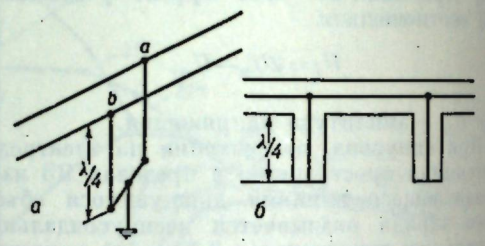


Рис. 2.

линии и замкнуты гальванически на землю. Такой изолятор узкополосен. При изменении длины волны, распространяющейся вдоль линии, относительно рабочей длины волны шлейфа, его входное сопротивление довольно быстро снижается. Четвертьволновые шлейфы применяются также для подавления четных гармоник частоты передатчика. Для этого шлейф, настроенный на основную частоту передатчика, подключается к его выходу или к любым точкам линии передачи, связывающей его с антенной. Для основной частоты передатчика входное сопротивление шлейфа будет бесконечно большим, для второй гармоники длина шлейфа составит уже полволны, а его входное сопротивление будет равно нулю. Т. к. длина такого шлейфа кратна полуволнам всех четных гармоник частоты передатчика, то все они будут замыкаться шлейфом накоротко.

Ю. Б. Любченко.

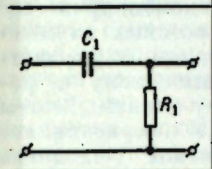
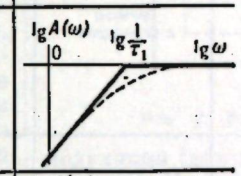
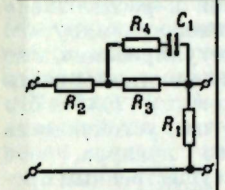
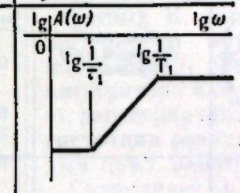
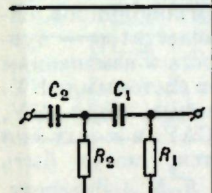
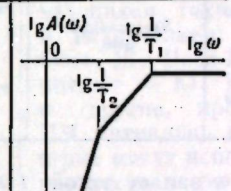
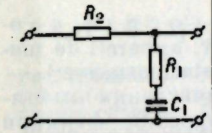
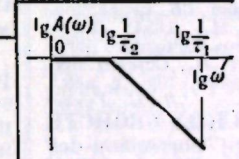
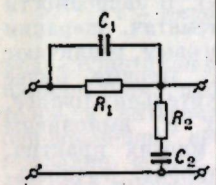
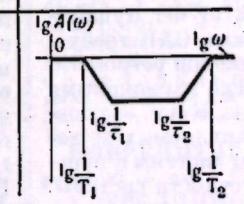
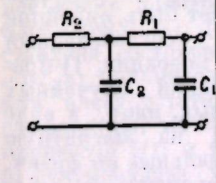
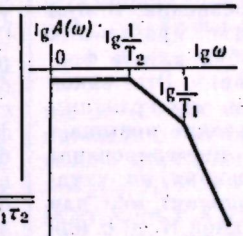
КОРРЕКТИРУЮЩАЯ ЦЕПЬ, контур (correcting circuit; chaîne correctrice; Korrekturkreis),— электрич. многополюсник, применяемый для улучшения динамич. свойств САР. Влияние К. ц. на динамич. хар-ки зависит от способа их включения в САР. Различают 2 вида коррекции: последовательную и параллельную. Первая служит для преобразования сигнала ошибки САР. В этом случае К. ц. включается последовательно с остальными элементами системы и придает ей желаемые частотные и фазовые хар-ки. Передаточная хар-ка системы с последоват. коррекцией:

$$W'(s) = W(s)\,Z(s),$$

где $W(s)$ — передаточная ф-ция «старой» системы, $W'(s)$ — передаточная ф-ция «новой» системы, $Z(s)$ — передаточная ф-ция К. ц.

При параллельной коррекции К. ц. связывают выход одного из последующих звеньев системы со входом одного из предыдущих с целью уменьшения влияния нестабильности параметров звеньев, охваченных К. ц., нелинейностей в хар-ках отдельных элементов или соответствующего изменения динамич. хар-к системы. Передаточная ф-ция системы, охваченной обратной связью через К. ц., имеет вид:

$$W'(s) = \frac{W(s)}{1 + Z(s)\,W(s)}.$$

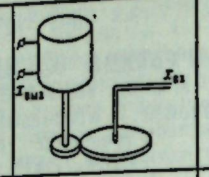
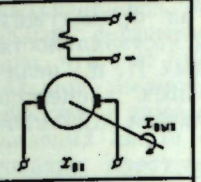
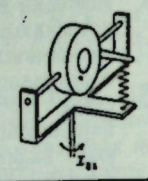
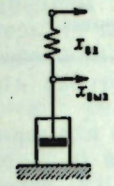
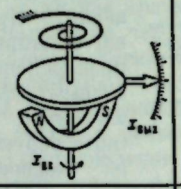
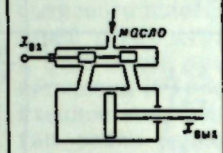
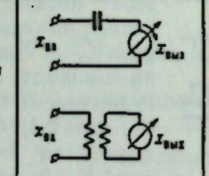
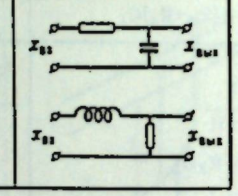
Схема корректирующей цепи	Передаточная функция	Логарифмическая частотная характеристика
	$\frac{s\tau_1}{s\tau_1+1}$ $\tau_1 = R_1C_1$	
	$\frac{R_1}{R_1+R_3+R_2}\cdot\frac{\tau_1 s+1}{T_1 s+1}$ $T_1 = \frac{(R_2+R_1)\tau_2+R_3\tau_1}{R_1+R_2+R_3}$ $\tau_1 = R_4C_1;\ \tau_2 = (R_3+R_4)C_1$	
	$\frac{T_1T_2\tau_1\tau_2 s^2}{(T_1s+1)(T_2s+1)}$ $\tau_1 = R_1C_1;\ \tau_2 = R_2C_2$ $\tau_3 = (R_1+R_2)C_1$ $T_1 = \frac{2\tau_1\tau_2}{(\tau_3+\tau_2)+\sqrt{(\tau_3+\tau_2)^2-4\tau_1\tau_2}}$ $T_2 = \frac{2\tau_1\tau_2}{(\tau_3+\tau_2)-\sqrt{(\tau_3+\tau_2)^2-4\tau_1\tau_2}}$	
	$\frac{\tau_1 s+1}{\tau_2 s+1}$ $\tau_1 = R_1C_1;\ \tau_2 = (R_1+R_2)C$	
	$\frac{(1+\tau_1 s)(1+\tau_2 s)}{(1+T_1 s)(1+T_2 s)}$ $\tau_1 = R_1C_1;\ \tau_2 = R_2C_2$ $\tau_3 = R_1C_2$ $T_1 = \frac{2\tau_1\tau_2}{(\tau_1+\tau_2+\tau_3)-\sqrt{(\tau_1+\tau_2+\tau_3)^2-4\tau_1\tau_2}}$ $T_2 = \frac{2\tau_1\tau_2}{(\tau_1+\tau_2+\tau_3)+\sqrt{(\tau_1+\tau_2+\tau_3)^2-4\tau_1\tau_2}}$	
	$\frac{T_1T_2}{(T_1s+1)(T_2s+1)}$ $\tau_1 = R_1C_1,\ \tau_2 = R_2C_2$ $\tau_3 = R_2C_1$ $T_1 = \frac{2\tau_1\tau_2}{(\tau_1+\tau_2+\tau_3)+\sqrt{(\tau_1+\tau_2+\tau_3)^2-4\tau_1\tau_2}}$ $T_2 = \frac{2\tau_1\tau_2}{(\tau_1+\tau_2+\tau_3)-\sqrt{(\tau_1+\tau_2+\tau_3)^2-4\tau_1\tau_2}}$	

Наиболее распространенными К. ц. являются пассивные четырехполюсники (гл. обр. *RC*), основные типы к-рых приведены в таблице.

И. И. Пашаев.

КОРРЕКТИРУЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ (correcting element; élément correcteur; Korrekturelement) — элемент, предназначенный для улучшения динамических свойств САР. Основные назначения К. э.: обеспечение устойчивости САР и улучшение показателей качества переходного процесса. Существуют последовательные и параллельные К. э. Первые включаются в основной контур регулирования. При их помощи формируются сигналы, пропорциональные производным (дифференцирующие элементы) и интегралам (интегрирующие элементы) от входного сигнала. В табл. показано конструктивное выполнение некоторых К. э. для получения производных величины регулируемого воздействия (см. стр. 124). Основное преимущество последовательных К. э.— простота их исполнения в виде пассивных *RC*-контуров. Их недостатки: повышенное требование к стабильности; у дифференцирующих К. э.— чувствительность к помехам. Параллельные К. э. представляют местные обратные связи. Преимущества параллельных К. э.: менее жесткие требования к стабильности характеристик; питание элемента, даже при потреблении значительного количества энергии не представляет затруднений; менее подвержены влиянию помех; играя роль фильтра НЧ уменьшают влияние помех, содержащихся в сигнале ошибки. Недостатки параллельных К. э.: громоздкость и дороговизна, к-рые создаются применением, напр., тахомашин или стабилизирующих трансформаторов. Параллельные К. э. требуют высоких коэффициентов усиления.

К. э. позволяют изменять форму частотной хар-ки САР в желаемом направлении и расположение полюсов передаточной ф-ции (перемещением их из правой полуплоскости в левую), если система первоначально оказалась неустойчивой. При расчете САР параметры К. э. определяют, исходя из требований, предъявляемых к показателям качества пе-

Дифференцирующие элементы		Интегрирующие элементы	
Тахогенератор		Двигатель постоянного тока	
Закрепленный гироскоп		Пружина с демпфером	
Тахометр		Поршневой исполнительный механизм	
Электрическая цепь		Электрическая цепь	

переходного процесса, а также к запасу устойчивости системы.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Корректирующие цепи в автоматике. Сб. переводов, под ред. М. З. Литвина-Седого, М., 1954; Лернер А. Я., Введение в теорию автоматического регулирования, М., 1958; Оппельт В., Основы техники автоматического регулирования, пер. с нем., М.— Л., 1960.

В. И. Гуков.

КОРРЕКЦИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ (dynamic properties correction; correction des propriétés dynamiques; Korrektur der dynamischen Eigenschaften) — придание САР требуемых динамич. свойств при помощи устройств, являющихся элементами с легко изменяемыми параметрами и хар-ками. Цель К.д.с.— удовлетворение требований, предъявляемых к запасу устойчивости, поведению системы в переходном процессе, динамич. точности системы. По месту расположения корректирующих устройств (КУ) различают последовательную, параллельную К. д. с. и комбинированные системы. При последоват. коррекции КУ включается после элемента сравнения. В этом случае говорят о методе К. д. с. при помощи преобразования сигнала ошибки или о формировании закона регулирования. Этот закон может быть дифференциальным, интегральным и смешанным. Дифференцирование повышает быстродействие системы, интегрирование уменьшает установившиеся ошибки, но ухудшает устойчивость, требуя дополнит. мер для ее сохранения. При параллельной К. д. с. или К. д. с. при помощи местных обратных связей КУ включается в цепь этой обратной связи. Жесткие обратные связи повышают быстродействие, гибкие — являются стабилизирующими. Основные преимущества параллельной К. д. с.: независимость динамич. свойств корректированной системы от изменений ее параметров и меньшее влияние на нее ВЧ шумов и помех, содержащихся во входном сигнале. Как последовательная, так и параллельная К. д. с., осуществляемые внутри основного замкнутого контура регулирования, влияет на устойчивость САР, и часто невозможно получить одновременно высокую точность и устойчивость. Этого недостатка лишена К. д. с. по методу комбиниров. систем, построенных на сочетании принципов управления по замкнутому и разомкнутому циклам. В этом случае КУ осуществляет преобразование входного воздействия и расположение основного замкнутого контура регулирования. Это дает возможность получить точную работу САР без влияния на устойчивость замкнутого контура, что является существенным преимуществом комбиниров. систем; их недостаток — чувствительность к изменениям параметров системы или КУ. Перечисленные виды КУ, а также САР, в к-рых они применяются, могут быть линейными и нелинейными. *Б. Н. Андрейчиков.*

КОРРЕКЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИКИ (characteristic correction; correction de caractéristique; Korrekturkennlinien) — см. *Амплитудно-частотная коррекция.*

КОРРЕЛОМЕТР, коррелограф, коррелятор (correlation meter; appareil de mesure de corrélation; Korrelationsmesser), — прибор для автоматич. вычисления взаимной корреляц. или автокорреляц. функции по реализации стационарного случайного процесса либо процесса, приводимого к стационарному (см. *Корреляция*). В зависимости от того, выполняются ли математич. операции цифровым методом или аналоговым, различают цифровые и аналоговые К. Первые более точны, но конструктивно значительно сложнее. Большинство существующих К. выполнены как аналоговые, ибо и во многих практич. случаях они дают удовлетворит. точность. Для вычисления корреляц. ф-ций при помощи универсальных ЦВМ необходимы дополнит. устройства автоматич. считывания реализаций СП, преобразования этих реализаций в цифровой код и ввода в машину. В нек-рых случаях аналоговый К. может быть линейной системой, использующей согласованный фильтр. К. выполняет след. операции: 1) преобразует ординаты реализаций случайных процессов $\xi(t)$ и $\eta(t)$, заданных, напр., в виде осциллограмм или записей на магнитную ленту, в нек-рые пропорциональные им физич. величины (напряжения, перемещения, световой поток и др.); 2) производит перемножение величин, соответствующих ординатам кривых $\xi(t)$ и $\eta(t)$ для значений t и t', сдвинутых одно относительно другого на нек-рую фиксиров. для каждого цикла операций величину τ; 3) интегрирует результат умножения за каждый отдельный цикл для каждого значения и регистрирует значение интеграла в конце каждого цикла. Кроме того, прибор позволяет регулировать величину времени сдвига τ непрерывно или дискретно в нек-ром интервале $\tau_1 \leqslant \tau \leqslant \tau_2$, определенном для каждого вида прибора. Построены и описаны в литературе механич., пневматич., фотоэлектрич. и электронные К.

Пневматич. К. обладает рядом существ. преимуществ по сравнению с др. К.: он может обрабатывать НЧ и инфранизкочастотную информацию, обычно характеризующую медленно действующие объекты теплотехнич. процессов и системы их автоматич. управления; приспособлен к работе непосредственно от датчиков технологич. параметров (необходимо лишь, чтобы эти датчики имели пневматич. выходной сигнал стандартного диапазона), что позволяет включать его прямо в систему автоматич. управления объектом. Область применения пневматич. К. ограничивается его невысоким быстродействием по сравнению с электрич. К.

Пневматич. К. строятся на аналоговом принципе по скелетной схеме (рис. 1). Применение линии запаздывания, состоящей из

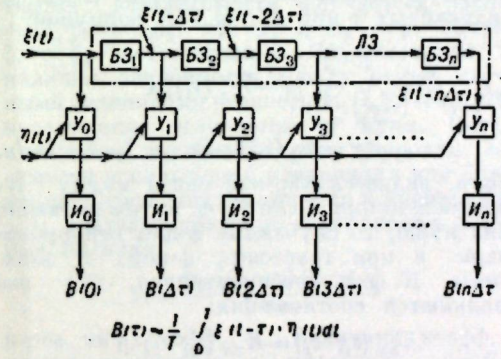


Рис. 1. Скелетная схема пневматич. коррелометра: $\xi(t)$, $\eta(t)$ — входные сигналы (переменные координаты объекта); *БЗ* — блок запаздывания; *ЛЗ* — линия запаздывания; *У* — умножитель; *И* — интегратор; $B(\tau)$ — ордината корреляционной функции; T — время наблюдения; τ — время запаздывания (сдвиг между входными сигналами); t — текущее (реальное) время.

ряда однотипных блоков запаздывания, и параллельных цепочек из пневматич. множителей и интеграторов позволяет вычислять одновременно необходимое число ординат корреляц. ф-ции. Каждый из блоков запаздывания также строится на аналоговом принципе моделирования чистого запаздывания на пневматич. решающих элементах (пневматич. сумматоры, камеры и дроссели).

Наиболее широко применяются в последнее время электронные К. Принципиальная блок-схема К. (рис. 2) может быть представлена состоящей из следующих осн. узлов: а) накопитель — бумажная, магнитная или электростатич. лента, перфолента или перфокарты, на к-рых записаны реализации процессов $\xi(t)$ и $\eta(t)$, снятые одновременно; б) считывающее устройство (*СчУ*), воспроизводящее записанный процесс в виде непрерывного электрич. сигнала, последовательности модулированных импульсов или дискретного кода. К. должен иметь два считывающих устройства — одно для считывания ф-ции $\xi(t)$, другое — для считывания $\eta(t)$, расстояние между к-рыми определяет временной сдвиг τ; в) цепь задержки, в к-рой происходит задержка сигнала на величину $t-\tau$; г) умножитель, перемножающий электрич. сигналы. Чаще всего в К. применяются умножители на квадраторах (для непрерывных сигналов) и с использованием двойной импульсной

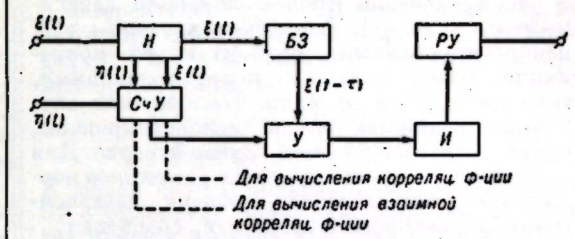


Рис. 2. Блок-схема коррелометра.

модуляции (для импульсных сигналов). В дискретных К. используются дискретные умножители; д) интегратор — обычно накопит. конденсатор, решающий усилитель в режиме интегратора или дискретный накопит. регистр; е) регистрирующее устройство (*РУ*) для регистрации результата интегрирования за каждый цикл работы прибора.

Существует ряд конструкций К., различающихся технич. принципами построения и назначением: фотоэлектрические — Харыбина, Ж. Пебе-Перула и П. Симона; магнитные — Ю. В. Новикова, И. Кршечана и другие, предназначенные для анализа НЧ сигналов; коррелометры Wilcox, Page, к-рые могут использоваться при исследовании процессов в диапазоне дециметровых и сантиметровых волн. Блок-схемы и подробное описание различных К. см. лит.

Лит.: Балкен Н. Г., Блэндхол Е. К., К экспериментальному определению статистических свойств сигналов и помех в системах автоматического управления, «Тр. I Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т.] 3, М., 1961; Křečan J., Samočinný korelátor, «Slaboproudý obzor», 1960, sv. 21, čis. 4, s. 214—19; Rebay-Peyroula J. C., Simon P., Réalisation d'un corrélateur électronique a lecture directe, «J. phys. et radium», 1954, Suppl. au t. 15, № 5, p. 101a; Bennett W. R., The correlatograph. A machine for continuous display of short term correlation, «Bell System Techn. J.», 1953, v. 32, № 5; Солодовников В. В., Статистическая динамика линейных систем автоматического управления, М., 1960; Lange F. H., Korrelationselektronik, B., 1959.

И. И. Пашшев, Л. О. Хвилевицкий.

КОРРЕЛЯТОР (correlator; corrélateur; Korrelator) — см. *Коррелометр.*

КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ, автокорреляционная функция (correlation function; fonction de corrélation; Korrelationsfunktion), — второй центральный момент случайной ф-ции; для действительной случайной ф-ции $X(t)$ определяется ф-лой:

$$K_x(t_1, t_2) = M[\{X(t_1) - m_x(t_2)\} \times \{X(t_2) - m_x(t_2)\}],$$

где M — знак математич. ожидания, $m_x(t)$ — математич. ожидание $X(t)$. К. ф. положительно определена, симметрична $K_x(t_1, t_2) = K_x(t_2, t_1)$ и для нее выполняется неравенство $|K_x(t_1, t_2)| \leqslant \sqrt{K_x(t_1, t_1) K_x(t_2, t_2)}$. Значение К. ф. при $t_1 = t_2$ является дисперсией $X(t)$. Если $X(t)$ — стационарная случайная ф-ция, то $K_x(t_1, t_2) = K_x(\tau)$, где $\tau = t_1 - t_2$.

Значения X_1 и X_2 случайной ф-ции $X(t)$, взятые в фиксиров. моменты времени t_1 и t_2, являются случайными величинами, и соотношение

$$r_{x_1, x_2} = \frac{M[X_1 - MX_1][X_2 - MX_2]}{\sqrt{DX_1 \, DX_2}}$$

определяет коэфф. корреляции случайных величин X_1 и X_2 (D — символ дисперсии). Коэфф. корреляции является мерой зависимости случайных величин X_1 и X_2. В случае независимости этих величин $r=0$. Если же X_1 и X_2 связаны точной линейной зависимостью, то $r=\pm 1$. Случайные величины наз. некоррелированными, если их коэфф. корреляции равен нулю, и коррелированными, если он отличен от нуля. Независимые случайные величины всегда некоррелированы, однако обратное в общем случае неверно. Для случайных величин, имеющих совместное нормальное распределение, понятия независимости и некоррелированности совпадают.

К. ф. эргодич. случайной ф-ции можно получить усреднением по времени произведения $\{X(t_1)-m_x(t_1)\}\ \{X(t_2)-m_x(t_2)\}$, равного с вероятностью 1 его среднему по множеству. Это основной практич. способ вычисления К. ф., ибо он дает возможность получения ее по одной реализации случайной ф-ции, используя соотношения

$$K_x(t,t+\tau)=\lim_{T\to\infty}\frac{1}{2T}\int_{t-T}^{t+T}[X(s)-m_x(s)]\times$$
$$\times[X(s+\tau)-m_x(s+\tau)]\,ds$$

для нестационарной и

$$K_x(\tau)=\lim_{T\to\infty}\frac{1}{2T}\int_{-T}^{+T}[X(s)-m_x(s)]\times$$
$$\times[X(s+\tau)-m_x(s+\tau)]\,ds$$

для стационарной случайной ф-ции.

К. ф. стационарной случайной ф-ции $X(t)$ связана с ее спектральной плотностью $S(\omega)$ преобразованиями Фурье:

$$S(\omega)=\int_{-\infty}^{+\infty}K(\tau)\,e^{-i\omega\tau}\,d\tau;$$

$$K(\tau)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty}S(\omega)\,e^{i\omega\tau}\,d\tau=\frac{1}{\pi}\int_{0}^{\infty}S(\omega)\,e^{i\omega\tau}\,d\tau.$$

Эти соотношения, связывающие спектральные и корреляц. свойства случайных ф-ций, позволяют при расчетах в зависимости от необходимости переходить из одной области изображений в другую.

К. ф. является одной из основных хар-к случайной ф-ции. Совместно с математич. ожиданием К. ф. полностью определяет гауссову случайную ф-цию. Поэтому при статистич. расчете САР посредством гауссовых случайных ф-ций достаточно ограничиваться корреляц. свойствами сигналов и помех при анализе и синтезе таких систем. На практике и для негауссовых случайных ф-ций часто оказывается достаточным вести исследование, привлекая только моменты порядка не выше второго, ибо К. ф. выхода САР является вполне приемлемой хар-кой ее работы.

Вычисление К. ф. выхода системы требует знания корреляц. свойств сигналов на входе и помех. К. ф. последних часто имеют вид $e^{-c(t_1,t_2)}$ (гауссова марковская случайная ф-ция), $c\delta(t_1-t_2)$ («белый шум»). К. ф. выхода относительно просто и стандартными методами рассчитывается для линейных систем и для систем, приводимых к линейным, но ее определение для нелинейных систем, как правило, наталкивается на большие трудности и требует особых методов. Для автоматизации вычислений при определении К. ф. применяют *коррелометры*, работающие на принципе усреднения по времени, или электронные вычислит. машины; при этом используют различные виды записи реализаций случайных ф-ций.

Лит.: Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 2 изд., М., 1960.

А. И. Тейман.

КОРРЕЛЯЦИОННАЯ ФУНКЦИЯ ВЗАИМНАЯ (cross-correlation function; fonction de corrélation mutuelle; Kreuzkorrelationsfunktion) — смешанный центральный момент второго порядка двух случайных ф-ций; для действит. случайных ф-ций $X(t)$ и $Y(t)$ определяется ф-лой:

$$K_{xy}(t_1,\ t_2)=\mathrm{M}\,[\{X(t_1)-m_x(t_1)\}\times$$
$$\times\{Y(t_1)-m_y(t_2)\}],$$

где M — символ математич. ожидания, $m_x(t)$ — математич. ожидание $X(t)$, $m_y(t)$ — математич. ожидание $Y(t)$. К. ф. в. выражается через двумерную плотность вероятности (x, y, t_1, t_2) случайных ф-ций $X(t)$ и $Y(t)$ формулой:

$$K_{xy}(t_1,\ t_2)=\int_{-\infty}^{+\infty}\int_{-\infty}^{+\infty}[x-m_x(t_1)]\times$$
$$\times[y-m_y(t_2)]\,p(x,\ y,\ t_1,\ t_2)\,dx\,dy.$$

К. ф. в. является хар-кой связи между случайными ф-циями. Если К. ф. в. тождественно равна нулю, то случайные ф-ции некоррелированы, а при гауссовых ф-циях и независимы. К. ф. в. несимметрична, для нее выполняются соотношения:

$$K_{xy}(t_1,\ t_2)=K_{yx}(t_2,\ t_1)\ \text{и}$$
$$|K_{xy}(t_1,\ t_2)|\leqslant\sqrt{K_x(t_1,\ t_1)\,K_y(t_2,\ t_2)}.$$

Если $X(t)$ и $Y(t)$ стационарные и стационарно связанные случайные ф-ции, то их К. ф. в. является ф-цией одного переменного $\tau=t_1-t_2$.

К. ф. в. эргодич. стационарных и стационарно связанных случайных ф-ций можно вычислять на практике, используя одну реализацию случайной ф-ции, исходя из ф-лы:

$$K_{xy}(\tau)=\lim_{T\to\infty}\frac{1}{2T}\int_{-T}^{+T}[X(s+\tau)-m_x(s+\tau)]\times$$
$$\times[Y(s)-m_y(s)]\,ds,$$

т. к. для эргодич. случайных ф-ций результат усреднения по времени произведения

$$[X(t_1)-m_x(t_1)]\,[Y(t_1)-m_y(t_1)]$$

с вероятностью 1 совпадает с результатом усреднения этого выражения по множеству.

К. ф. в. выхода и входа САР входит в интегральное ур-ние, определяющее оптимальную систему на основе среднеквадратичного критерия:

$$K_{yx}(\tau)=\int_0^\infty g(t)\,K_{xx}(\tau-t)\,dt,$$

где $K_{yx}(\tau)$ — К. ф. в. выхода и входа; $K_{xx}(\tau-t)$ — автокорреляционная ф-ция входа; $g(t)$ — весовая ф-ция оптимальной системы (см. *Импульсная переходная функция*). К. ф. в., вычисленные для различных входов и выходов многомерной САР, позволяют оценить характер связей между каналами системы и выбрать наиболее существенные. Автоматизация вычислений К. ф. в. проводится с помощью коррелографов и универс. электронных вычислит. машин.

Лит.: Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 2 изд., М., 1960.

А. И. Тейман.

КОРРЕЛЯЦИЯ (correlation; corrélation; Korrelation) — наиболее простой и практически важный вид статистич. или вероятностной связи между случайными событиями или величинами, к-рая может быть выражена числом. К. между двумя случайными величинами ξ_1 и ξ_2 характеризуется количественно вторым смешанным моментом, т. е. ср. значением произведения случайных величин

$$m_1\{\xi_1\,\xi_2\}=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}x_1x_2w_2(x_1,\ x_2)\,dx_1\,dx_2,$$

где $w_2(x_1,\ x_2)$ — совместное распределение (двумерная плотность вероятности) ξ_1 и ξ_2, m_1 — символ статистич. усреднения. При статистич. независимости случайных величин $m_1\{\xi_1\,\xi_2\}=a_1a_2$, где a_1 и a_2 — ср. значения ξ_1 и ξ_2 соответственно. Следовательно, при наличии зависимости между этими случайными величинами разность $m_1\{\xi_1\xi_2\}-a_1a_2$ (т. н. ковариация) отличается от нуля. Поэтому в качестве числовой хар-ки корреляц. зависимости используется ковариация или безразмерное отношение ковариации к произведению $\sigma_1\sigma_2$ среднеквадратичных уклонений случайных величин

$$R=\frac{m_1\{(\xi_1-a_1)(\xi_2-a_2)\}}{\sigma_1\sigma_2},$$

к-рое наз. коэфф. К. Величина коэфф. К. всегда заключена в пределах $-1\leqslant R\leqslant 1$. При статистич. независимости случайных величин ξ_1 и ξ_2 их ковариация и вместе с ней коэфф. К. обращаются в нуль. Однако обратное заключение о независимости ξ_1 и ξ_2 при $R=0$ в общем случае несправедливо. Две случайные величины, для к-рых коэфф. К. равен нулю, наз. некоррелированными. Т. о., независимые случайные величины всегда некоррелированы, но не наоборот.

Понятие К. распространяется на вероятностные (случайные) процессы (см. *Вероятностный процесс*). Здесь случайные величины ξ_1 и ξ_2 рассматриваются как значения, к-рые могут принимать реализации случайного процесса $\xi(t)$ в моменты времени t_1 и t_2. Т. к. совместное распределение $\xi_1=\xi(t_1)$ и $\xi_2=\xi(t_2)$ может изменяться при изменении t_1 и t_2, то и смешанный момент этих случайных величин зависит от указ. моментов времени и наз. корреляц. ф-цией случайного процесса (СП) $B_\xi(t_1,\ t_2)=m_1\{\xi(t_1)\,\xi(t_2)\}=$

$$=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}x_1x_2w_2(x_1,\ x_2,\ t_1,\ t_2)\,dx_1\,dx_2.$$

Для двух СП $\xi(t)$ и $\eta(t)$ в дополнение к их собств. корреляц. ф-циям $B_\xi(t_1,\ t_2)$ и $B_\eta(t_1,\ t_2)$ может быть определена взаимная корреляц. ф-ция $B_{\xi\eta}(t_1,\ t_2)=m\{\xi(t_1)\eta(t_2)\}$, являющаяся простейшей количеств. хар-кой статистич. связи этих процессов. Если СП $\xi(t)$ и $\eta(t)$ независимы и $a(t)$, $b(t)$ — их ср. значения, то $B_{\xi\eta}(t_1,\ t_2)=a(t_1)b(t_2)$. Если, кроме того, хотя бы у одного из процессов ср. значение равно нулю, то $B_{\xi\eta}(t_1,\ t_2)=0$. Процессы, для к-рых взаимные корреляц. ф-ции равны пост. величине (или, в частности, обращаются в нуль), наз. некогерентными. Конечно, из некогерентности двух СП не следует еще их статистич. независимость. Корреляц. свойства двух СП в два момента времени могут описываться корреляц. матрицей

$$\left\|\begin{matrix}B_\xi(t_1,\ t_2) & B_{\xi\eta}(t_1,\ t_2)\\ B_{\eta\xi}(t_1,\ t_2) & B_\eta(t_1,\ t_2)\end{matrix}\right\|.$$

В общем случае корреляц. матрица порядка $n\times n$ описывает корреляц. свойства n СП в два момента времени или двух СП в n моментов времени.

Если СП $\xi(t)$ стационарен, то совместное распределение $\xi(t_1)$ и $\xi(t_2)$ зависит не от самих значений t_1 и t_2, а только от разности $\tau=t_2-t_1$, и, следовательно, корреляц. ф-ция также будет зависеть только от τ, т. е. $B_\xi(t,\ t+\tau)=B_\xi(\tau)=m_1\{\xi(t)\xi(t+\tau)\}$ при любых t. Зависимость между величинами $\xi(t+\tau)$ и $\xi(t)$ при неогранич. увеличении τ должна ослабевать; в пределе эти величины становятся независимыми. Т. к. ср. значение произведения независимых случайных величин равно произведению ср. значений сомножителей и т. к. для стационарного процесса его ср. значение не зависит от времени, то $\lim\limits_{\tau\to\infty}B_\xi(\tau)=B_\xi(\infty)=a_\xi^2$ или $a_\xi=\sqrt{B_\xi(\infty)}$, т. е. ср. значение стационарного СП равно квадратному корню из асимптотич. значения корреляц. ф-ции при $\tau\to\infty$. С др. стороны, $\lim\limits_{\tau\to 0}B_\xi(\tau)=B_\xi(0)=m_1\{\xi^2(t)\}=$ $=m_{2\xi}=\sigma_\xi^2+a_\xi^2$, где σ_ξ^2 — дисперсия процесса.

Корреляц. ф-ция стационарного СП — четная $B_\xi(\tau)=B_\xi(-\tau)$, иначе говоря, кривая, изображающая $B(\tau)$, всегда симметрична относительно оси ординат. Так как $m_1\{|\xi(t)\pm\xi(t+\tau)|^2\}\geqslant 0$, то $B_\xi(0)\geqslant|B_\xi(\tau)|$, т. е. любое значение корреляц. ф-ции не может превышать (по модулю) ее значения при $\tau=0$ (см. рис. 1).

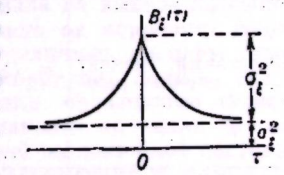


Рис. 1. Типичная кривая корреляционной ф-ции.

Следует, однако, отметить, что стремление $B_\xi(\tau)$ к величине a_ξ^2 при $\tau\to\infty$ не всегда происходит монотонно. Могут быть случаи, когда значения корреляц. функции колеблются около a_ξ^2, приближаясь асимптотически к этой величине при увеличении τ. Монотонное изменение корреляц. ф-ции характерно для НЧ и широкополосных процессов, а осциллирующее — для узкополосных (см. *Спектр энергетический*).

Отношение

$$R_\xi(\tau)=\frac{B_\xi(\tau)-a_\xi^2}{\sigma_\xi^2}$$

наз. нормированной корреляц. ф-цией или коэфф. К. стационарного СП. Коэфф. К. $R(\tau)$ обладает теми же свойствами, что и корреляц. ф-ция. Он является четной ф-цией своего аргумента. Макс. значение соответствует $\tau=0$, причем $R(0)=1$, а $|R(\tau)|\leqslant 1$ при любом τ и $R(\tau)\to 0$ при $\tau\to\infty$. Коэфф. К. может принимать

нулевые значения и при конечном τ. Однако равенство коэфф. К. нулю еще не означает независимости, как отмечалось выше.

Для стационарного СП всегда можно указать такое τ_0, что при $\tau>\tau_0$ величины $\xi(t)$ и $\xi(t+\tau)$ можно считать практически независимыми (т. е., что при $\tau>\tau_0$ абс. величина коэфф. К. остается меньше заданной, напр. $|R(\tau)|\leqslant 0{,}05$). τ_0 наз. временем или интервалом К. и иногда определяют как половину ширины основания прямоугольника единичной высоты, площадь к-рого равна площади под кривой модуля коэфф. К., т. е. $\tau_0=\frac{1}{2}\int_{-\infty}^{\infty}|R(\tau)|d\tau$.

Как показали А. Я. Хинчин и Н. Винер, корреляц. ф-ция стационарного СП всегда может быть представлена интегралом Фурье

$$B(\tau)=\frac{1}{4\pi}\int_{-\infty}^{\infty}F(\omega)e^{i\omega\tau}d\omega=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}F(\omega)\cos\omega\tau\,d\omega,$$

где $F(\omega)$ — огранич. ф-ция ($F(\omega)\geqslant 0$). Обратно, функция, к-рую можно представить в указанном виде, является корреляц. ф-цией нек-рого стационарного СП. Ф-ция $F(\omega)$ имеет простой физич. смысл: это — спектральная плотность ср. мощности процесса. Т. о., корреляц. ф-ция является энергетич. хар-кой процесса, определяющей распределение ср. мощности по частотам элементарных гармонич. составляющих.

Из определения корреляц. ф-ции следует, что для ее вычисления необходимо произвести статистич. усреднение по совокупности реализаций СП в заданные моменты t_1 и t_2. На практике исследователь располагает, как правило, не всей совокупностью, а лишь одной или неск. реализациями. Наблюдая конкретные реализации $\xi^{(k)}(t)$, $\eta^{(k)}(t)$ СП, можно вычислить средние по времени: а) временную корреляц. ф-цию реализации $\xi^{(k)}(t)$:

$$B_{\xi}^{(k)}(\tau)=\lim_{T\to\infty}\int_{-T/2}^{T/2}\xi^{(k)}(t_0+t_1)\,\xi^{(k)}(t_0+t_2)\,dt_0,$$
$$t_2-t_1=\tau$$

и б) временную взаимную корреляц. ф-цию реализаций $\xi^{(k)}(t)$ и $\eta^{(k)}(t)$:

$$B_{\xi\eta}^{(k)}(\tau)=\lim_{T\to\infty}\int_{-T/2}^{T/2}\xi^{(k)}(t_0+t_1)\,\eta^{(k)}(t_0+t_2)\,dt_0.$$

Для эргодич. процессов корреляц. ф-ция, полученная усреднением по совокупности реализаций, совпадает с корреляц. ф-цией, получаемой усреднением по времени одной реализации. Т. к. реальные наблюдения ограничены по времени, то равенство средних по совокупности и по времени может приниматься лишь с определ. степенью достоверности и точности. Это подчеркивается в табл.

Сопоставление двух способов усреднения стационарных случайных процессов

Вид усреднения	По совокупности	По времени	Эргодич. свойство: когда $T\to\infty$ вероятность $P\{\ \}\to 1$
Среднее значение	$m_1\{\xi(t)\}=a_\xi=\sqrt{B_\xi(\infty)}$	$\frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2}\xi^{(k)}(t_0+t)\,dt=a_\xi^{(k)}(T)$ (пост. составляющая)	$P\{\lvert a_\xi-a_\xi^{(k)}(T)\rvert<\varepsilon\}\to 1$
Средний квадрат	$m_1\{\xi^2(t)\}=m_{2\xi}=B_\xi(0)$	$\frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2}[\xi^{(k)}(t_0+t)]^2\,dt=\mu_{2\xi}^{(k)}(T)$ (ср. мощность)	$P\{\lvert m_{2\xi}-\mu_{2\xi}^{(k)}(T)\rvert<\varepsilon\}\to 1$
Смешанный момент 2-го порядка (корреляц. ф-ция)	$m_1\{\xi(t)\,\xi(t+\tau)\}=B_\xi(\tau)$	$\frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2}\xi^{(k)}(t_0+t_1)\xi^{(k)}(t_0+t_2)dt_0=\beta_\xi^{(k)}(\tau,T)$, $\tau=t_2-t_1$	$P\{\lvert B_\xi(\tau)-\beta_\xi^{(k)}(\tau,T)\rvert<\varepsilon\}\to 1$
Взаимный момент 2-го порядка (взаимная корреляц. ф-ция)	$m_1\{\xi(t)\,\eta(t+\tau)\}=B_{\xi\eta}(\tau)$	$\frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2}\xi^{(k)}(t_0+t_1)\eta^{(k)}(t_0+t_2)\,dt_0=\beta_{\xi\eta}^{(k)}(\tau,T)$, $\tau=t_2-t_1$	$P\{\lvert B_{\xi\eta}-\beta_{\xi\eta}^{(k)}(\tau,T)\rvert<\varepsilon\}\to 1$

Трудоемкие расчеты корреляц. ф-ции по эксперимент. данным значительно облегчаются применением спец. вычислит. устройства — *коррелометра*.

Корреляц. анализом широко пользуются при решении задач в радиолокации, в системах связи (в частности, с разнесенным приемом сигналов), в САР, в измерит. технике. На использовании свойств корреляц. ф-ций основан, напр., т. н. корреляц. метод приема периодич. сигнала, скрытого в шумах. Пусть $\xi(t)$ — случайный стационарный и эргодич. процесс, представляющий шум, $s(t)$ — детерминированный периодич. сигнал. Рассмотрим временную корреляц. ф-цию суммы

$\xi(t)+s(t)$

$$B(\tau)=\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2}[\xi(t)+s(t)][\xi(t+\tau)+s(t+\tau)]\,dt=$$
$$=B_{ш}(\tau)+B_{с}(\tau)+B_{шс}(\tau)+B_{сш}(\tau),$$

где $B_{ш}(\tau)$, $B_{с}(\tau)$, $B_{шс}(\tau)$, $B_{сш}(\tau)$ — временные корреляц. и взаимные корреляц. ф-ции шума и сигнала. Т. к. периодич. сигнал и шумы некогерентны, а ср. значение шумов можно полагать равным нулю, то их взаимные корреляц. ф-ции равны нулю, и тогда $B(\tau)=B_{ш}(\tau)+B_{с}(\tau)$. Корреляц. ф-ция случайного стационарного процесса, каким является шум, убывает при неогранич. увеличении аргумента. Для периодич. сигнала временная корреляц. ф-ция периодична с периодом, равным периоду сигнала. Поэтому, включая в приемное устройство коррелометр, можно через нек-рое время обнаружить, имеет ли корреляц. ф-ция принимаемого процесса периодич. составляющую. Если такая периодич. составляющая выделяется при увеличении τ, то это указывает на наличие сигнала, если же по мере роста τ значения корреляц. ф-ции стремятся к пост. величине (в частности, к нулю), то сигнал отсутствует. На рис. 2 дана

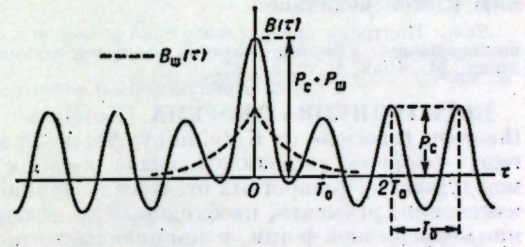


Рис. 2. Корреляционная ф-ция суммы сигнала и шума.

корреляц. ф-ция суммы сигнала и шума (пунктиром показана корреляц. ф-ция только шума). Виден абс. максимум при $\tau=0$ и относит. максимумы, к-рые, начиная с нек-рого τ, повторяются практически с периодом T_0, равным периоду сигнала. Если $P_с$ — мощность сигнала, а $P_ш$ — мощность шумов, то

$$B(0)=P_с+P_ш,\quad B(nT_0)=P_с,\quad n\gg 1$$

и относит. разность между абс. и периодически повторяющимся максимумами, равная $\frac{B(0)-B(nT_0)}{B(nT_0)}=\frac{P_ш}{P_с}$, тем меньше, чем больше превышение мощности сигнала над мощностью шумов. Поэтому при сильном сигнале обнаружение периодич. сигнала в шумах может быть осуществлено достаточно быстро, в то время как при слабом сигнале для получения корреляц. ф-ции большого аргумента потребуются значит. времена задержки процесса и усреднения на интервале $nT_0\gg\tau$. В тех случаях, когда необходимо установить наличие или отсутствие периодич. сигнала $s(t)$, форма к-рого заранее известна, корреляц. метод выделения сигнала из шумов может быть усовершенствован на основе априорного знания ф-ции $s(t)$ (когерентный прием). Для этого на приемном конце местным гетеродином производится сигнал $s(t)$ и исследуется взаимная корреляц. ф-ция приходящего сигнала, искаженного шумами, и сигнала от местного гетеродина, т. е.

$$B(\tau)=\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int_{-T/2}^{T/2}[\xi(t)+s(t)]\,s(t+\tau)\,dt=$$
$$=B_{с}(\tau).$$

Т. о., в рассматриваемом случае на выходе коррелометра непосредственно получается корреляц. ф-ция сигнала, и не требуется дополнит. времени для устранения апериодич. слагаемого, обусловленного шумами. При малых временах наблюдения будет возникать погрешность из-за влияния на показания коррелометра взаимных корреляц. ф-ций сигнала и шума, исчезающих лишь при неогранич. времени наблюдений.

Др. практически важная задача состоит в определении системы, способной наилучшим образом выделить из шумов сигнал, относительно к-рого заранее известно, что он присутствует. Предполагается, что сигнал $\xi(t)$ и искажающие его помехи $\eta(t)$ являются стационарными и стационарно связанными СП и что известны лишь корреляц. ф-ции сигнала $B_с(\tau)$, помехи $B_п(\tau)$ и их взаимная корреляц. ф-ция $B_{сп}(\tau)$. Последнее предположение заставляет ограничиваться только линейными системами, т. к. решение задачи о выделении сигнала в присутствии помех при помощи нелинейной системы требует знания тонкой структуры (ф-ций распределения) сигнала и помехи.

Определение $\xi(t)$, когда наблюдается $\xi(t)+\eta(t)$, наз. сглаживанием или фильтрацией. В более общем плане задача выделения рассматривается как предсказание или экстраполяция значений сигнала, т. е. определение $\xi(t+t_0)$ при $t_0\geqslant 0$. Часто принимают, что наилучшее выделение дает такая оптим. линейная система (см. *Фильтр оптимальный*), которая реализует минимум ср. квадратичной ошибки воспроизведения сигнала. Доказывается, что среднеквадратичная ошибка воспроизведения сигнала на выходе линейной системы зависит только от корреляц. ф-ций сигнала и помех. Различные сигналы, имеющие одинаковые корреляц. ф-ции, будут выделяться наилучшим образом из помех, также имеющих одинаковые корреляц. ф-ции, с помощью одной и той же линейной системы.

В общей теории обнаружения и выделения сигналов на фоне шума, использующей для оценки качества систем тонкие статистич. критерии, показывается, что в том или ином виде коррелометр является элементом оптим. устройства, при помощи к-рого принимается решение о наличии или отсутствии сигнала или дается оценка неизвестным параметрам сигнала.

Если в системах связи в качестве несущей использовать шум, то передачу информации в таких системах можно осуществить, модулируя те или иные параметры, определяющие вид корреляц. ф-ции шума.

Корреляционная техника указывает простой способ определения импульсной переходной ф-ции $h(\tau)$ линейной цепи; если на вход цепи подается *шум белый*, то взаимная корреляц. ф-ция процессов на входе и на выходе цепи в точности совпадает с $h(\tau)$.

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; Л и И. В. [и др.], Применение корреляционного анализа для обнаружения периодических сигналов в шуме, в кн.: Теория информации и ее приложения. Сб. переводов, М., 1959; Х а р к е в и ч А. А., Спектры и анализ, 3 изд., М., 1957; М и д д л т о н Д., Введение в статистическую теорию связи, пер. с англ., т. 1—2, М., 1961—62. *Б. Р. Левин.*

КОСВЕННЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ (indirect measurements; mesures indirectes; indirekte Messungen) — измерения, результат к-рых находят на основании прямых измерений нек-рых др. величин (косвенных показателей, косвенных параметров), связанных с измеряемой (контролируемой) величиной известной зависимостью. К. и. широко применяются в науке и в пром-сти, когда искомую величину невозможно определить непосредств. измерением или когда К. и. более просты или более точны в сравнении с возможными прямыми измерениями. Так, напр., только К. и. можно определить эксцентриситет вала, непосредственно измеряя радиальное биение, т. е. разность между наибольшим и наименьшим показаниями измерит. головки при обороте вала в центрах или на призме; ср. плотность тела определяют по его массе и геометрич. размерам; расстояние между осями отверстий — по их диаметрам и расстоянию между краями. Диаметр вала очень большого размера можно непосредственно измерить скобой с измерит. головкой, но проще и удобнее определять его К. и. по длине окружности, полученной опоясыванием вала точной рулеткой или на основе измерений хорды и углов (рис. 1). Средний диаметр d_2 наружной резьбы можно непосредственно измерить резьбовым микрометром или на универсальном микроскопе, но К. и. с помощью трех проволочек и оптиметра (рис. 2) точнее прямых измерений.

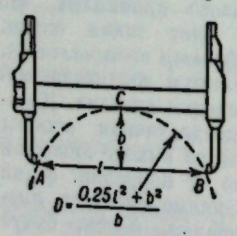


Рис. 1.

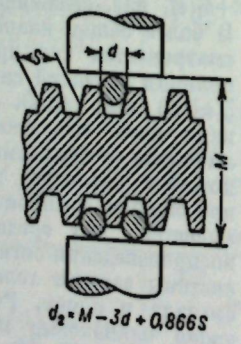


Рис. 2.

В автоматизиров. производств. процессе К. и. применяются для определения размеров у обрабатываемых деталей по перемещению нек-рых частей станка или режущего инструмента (оптич. метод с фотоэлементом); диаметров и разностенности труб (см. *Измерения возбуждением вихревых токов*); толщины гальванич. покрытий по плотности тока и концентрации раствора в ваннах; глубины полимеризации (т. е. степени превращения мономеров в полимер) при получении дивинилстирольного каучука по скорости прохождения ультразвука в реакционной массе (непосредств. автоматич. измерение глубины полимеризации практически невозможно). Точность К. и. зависит от точности прямых измерений и степени приближения используемой функциональной зависимости. Погрешность К. и. вычисляется как ошибка ф-ции, если известны ошибки ее аргументов и вид функциональной зависимости.

Косвенный показатель и первичная контролируемая величина могут быть связаны между собой либо функциональной, либо статистич. зависимостью. В случае функциональной связи значение первичной контролируемой величины получается путем проведения ряда математич. операций над значениями косвенного показателя. Этот метод широко используется для определения сводных показателей: кпд объекта, уд. расхода сырья или топлива на единицу выпущенной продукции, себестоимости и др. В большинстве случаев эти сводные показатели не могут быть непосредственно измерены и получаются путем обработки соответствующих значений ряда исходных косвенных показателей. Когда между косвенным показателем и первичной контролируемой величиной существует статистич. зависимость, для получения необходимой информации об изменении первичной контролируемой величины по наблюдению измеряемого косвенного показателя используются методы теории *корреляции*. При выборе одного косвенного показателя из неск. возможных наилучшим считается тот, к-рый требует наименьших затрат для своего контроля, наиболее тесно связан (коррелирован) с первичной контролируемой величиной и имеет возможно меньшее запаздывание по отношению к этой величине.

Лит.: Контроль средств измерения размеров в машиностроении. Сборник материалов и инструкций, 2 изд., М., 1948, с. 32, 35, 37. *А. Е. Дудников, А. Н. Журавлев.*

КОТЕЛЬНИКОВА ТЕОРЕМА (Kotelnikov's theorem; théorème de Kotelnikov; Abtast-Theorem) — теорема, устанавливающая зависимость между числом дискретных отсчетов на единицу изменения аргумента, необходимым для задания непрерывной ф-ции, и шириной частотного спектра этой ф-ции. Доказана в 1933 сов. ученым В. А. Котельниковым. К. т. гласит, что всякая непрерывная ф-ция, спектр к-рой ограничен полосой частот F, может быть полностью восстановлена по ее дискретным значениям, взятым через интервалы аргумента, равные $\frac{1}{2F}$.

Интервал $\frac{1}{2F}$ есть интервал корреляции, так что общий смысл К. т. состоит в том, что для задания непрерывной ф-ции достаточно располагать совокупностью ее некоррелир. значений. Аналитически К. т. доказывается путем представления ф-ции $f(t)$ с огранич. спектром шириной F в виде ряда

$$f(t)=\sum_{k=-\infty}^{\infty} f\left(\frac{k}{2F}\right)\frac{\sin\pi(2Ft-k)}{\pi(2Ft-k)}.$$

Для получения такого представления следует спектр ф-ции $f(t)$ разложить в ряд Фурье и почленно подвергнуть обратному преобразованию Фурье. Для восстановления непрерывной ф-ции $f(t)$ по ее дискретным значениям нужно сформировать последовательность бесконечно коротких импульсов, интегр. значения к-рых пропорциональны дискретным значениям ф-ции, и пропустить эту последовательность через фильтр нижних частот с граничной частотой F.

Вышеприведенная формулировка К. т. относится к ф-циям с огранич. спектром, т. е. ф-циям, спектральная плотность к-рых тождественно равна нулю вне полосы F. Позднее было показано, что К. т. применима и к ф-циям

с неограниченным, но достаточно быстро убывающим спектром. В этом случае непрерывная ф-ция восстанавливается по своим дискретным значениям не точно, но с легко оцениваемым приближением. Теоретико-информац. обобщение и уточнение смысла К. т. было дано сов. ученым А. Н. Колмогоровым (1956). К. т. играет большую роль в теории связи, где она применяется, в частности, для определения тактовой частоты (частоты следования). При всех видах импульсной передачи эта частота берется не меньше, чем $2F$.

Лит.: К о т е л ь н и к о в В. А., О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи, в кн.: Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности, М., [1933]; Х а р к е в и ч А. А., Очерки общей теории связи, М., 1955; е г о ж е, Спектры и анализ, 3 изд., М., 1957; К о л м о г о р о в А. Н., Теория передачи информации, М., 1956. *И. И. Игнатьев.*

КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ ИОННОГО ПРИВОДА (ionic drive power coefficient; facteur de puissance d'une commande ionique; Leistungskoeffizient des Ionenantriebs, Leistungsfaktor des Ionenantriebs) — отношение первичной активной мощности P_1 к кажущейся мощности S_1, потребляемой приводом от питающей сети.

$$\lambda=\frac{P_1}{S_1}=\frac{3U_1I_{1(1)}\cos\varphi}{3U_1I_1}=\frac{I_{1(1)}}{I_1}\cos\varphi=\nu\cos\varphi, \quad (1)$$

где: I_1 — действующее значение первичного тока; $I_{1(1)}$ — действующее значение основной гармоники первичного тока, определяющее потребляемую приводом активную мощность; U_1 — действующее значение первичного на-

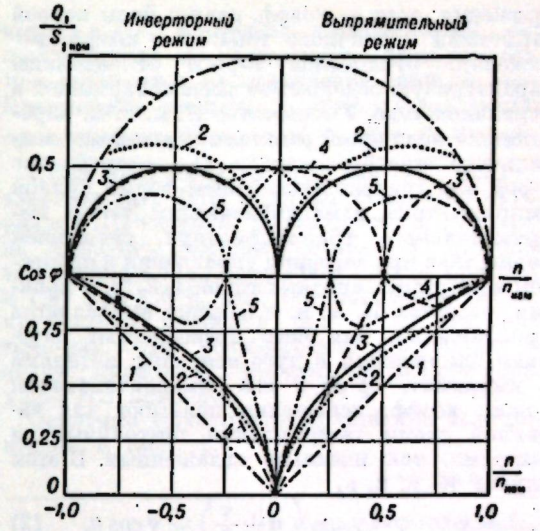


Рис. 1. Зависимости относит. потребляемой реактивной мощности $Q_1/S_{1\,ном}$ и коэфф. сдвига $\cos\varphi$ от относит. скорости в схемах ионного привода: *1* — при обычном управлении; *2* — в схеме с нулевым вентилем; *3* — в схеме с разноврем. сеточным управлением; *4* — в схеме с несимметричным сеточным управлением; *5* — в схеме со встречно-поочередным сеточным управлением.

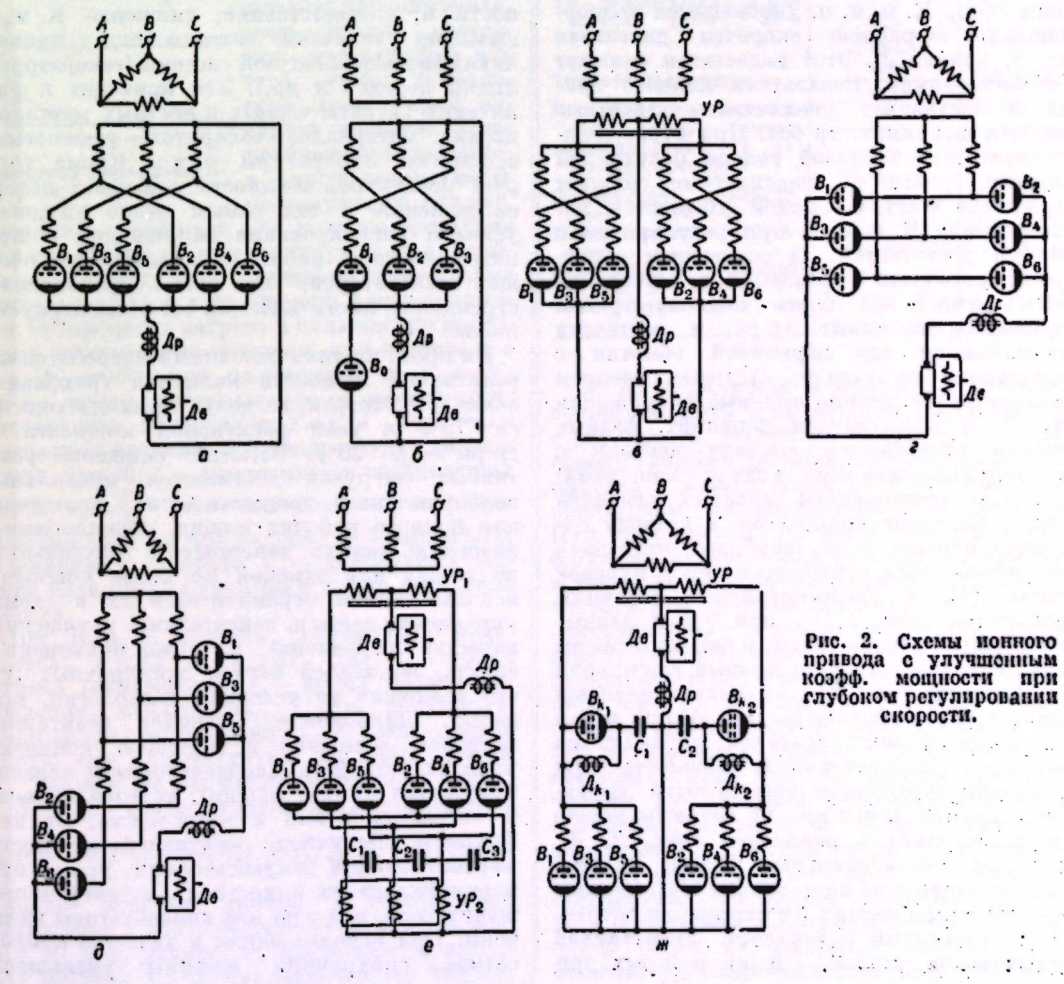


Рис. 2. Схемы ионного привода с улучшенным коэфф. мощности при глубоком регулировании скорости.

пряжения; cosφ — коэфф. сдвига фазы первой гармоники первичного тока; ν — коэфф. искажения, отклонение к-рого от единицы характеризует содержание высших гармоник. в первичном токе. Уменьшение К. м. и. п. определяется величиной реактивной мощности вентильного преобразователя Q_1, потребление к-рой обусловлено искажением формы кривой выпрямл. тока, намагничивающим током выпрямительного трансформатора, смещением волны тока при сеточном управлении и процессом коммутации анодных токов [1, 2, 3]. В практич. расчетах К. м. и. п. обычно вычисляется приближенно, для чего пренебрегают падением напряжения в дуге вентилей, потерями в выпрямит. тр-ре и его намагничивающим током; коэфф. искажения полагают для заданной схемы выпрямления постоянным, а выпрямл. ток идеально сглаженным. В этом случае К. м. и. п.

$$\lambda = \nu \cos\varphi = \nu \cos\left(\alpha + \frac{\gamma}{2}\right) \approx \nu \cos\alpha, \qquad (2)$$

где α — угол регулирования вентилей, а γ — угол коммутации анодных токов. Величина пост. коэфф. искажения ν равна 0,827 для трехфазных схем выпрямления; 0,955 для шестифазных и 0,988 для двенадцатифазных.

Скорость регулируемого двигателя приближенно прямо пропорциональна выходному напряжению преобразователя:

$$U_в = U_{во} \cos\alpha \text{ и } n = n_{ном} \cos\alpha. \qquad (3)$$

Таким обр., К. м. и. п. уменьшается пропорционально снижению скорости двигателя (рис. 1, кривая *1*). Этот недостаток снижает технико-экономич. показатели ионного привода и заставляет увеличивать расчетные мощности выпрямит. тр-ров. При пуске мощного двигателя большой толчок реактивной мощности сдвига Q_1 недопустимо снижает напряжение в сетях с малой мощностью кз.

Повышение К. м. и. п. при регулировании скорости достигается: 1) сочетанием непрерывного сеточного управления с переключением вентилей на более низкие ступени напряжения выпрямит. тр-ра, в частности переключением его первичной обмотки с треугольника на звезду; 2) переключением схемы на более низкие анодные напряжения (рис. 2, *а*) при помощи дополнит. фазных вентилей (запираются сначала вентили с бо́льшими напряжениями, а затем с меньшими) [1, 2]; 3) применением нулевых вентилей (рис. 2, *б*); сдвиг волны тока в сторону отставания меньше, т. к. наиболее отстающая часть волны тока замыкается через нулевой вентиль [1]; 4) несимметричным сеточным управлением (рис. 1, *в*), при к-ром фазные вентили управляются только в четные периоды цикла, в результате чего фазный сдвиг волн тока уменьшается [4]; 5) разновременным сеточным управлением (рис. 2, *г*), при к-ром две группы фазных вентилей управляются поочередно, и реактивную мощность при управлении потребляет только одна управляемая группа вентилей; 6) встречно-поочередным сеточным управлением (рис. 2, *д*), при к-ром две вентильные фазные группы имеют неодинаковые напряжения и при малых выходных напряжениях регулируются встречно [5]; 7) схемами с искусств. коммутацией анодных токов (рис. 2, *е* и *ж*), в к-рых при регулировании напряжения за счет емкостей имеет место сдвиг волны тока в сторону опережения, что позволяет использовать такие установки в качестве источника реактивной мощности [1, 6]. Иногда можно применить одновременно неск. методов улучшения коэфф. мощности, напр. несимметричное сеточное управление и нулевые вентили [7].

Лит.: 1) Каганов И. Л., Электронные и ионные преобразователи, ч. 3, М.— Л., 1956; 2) Бутаев Ф. И., Эттингер Е. Л., Вентильный электропривод, М.— Л., 1951; 3) Ривкин Г. А., Преобразовательные установки большой мощности, 2 изд., М.— Л., 1959; 4) Маевский О. А., Долбня В. Т., Система несимметричного сеточного управления с электромагнитным коммутатором, «ВЭ», 1959, № 2; 5) Маевский О. А., Ионные преобразователи трехфазного тока с многоступенчатым анодным напряжением, «ИВУЗ. Электромеханика», 1961, № 7; 6) Чиженко И. М., Немировский А. Ш., Многофазный компенсационный ртутно-выпрямительный агрегат, «Пром. энерг.», 1958, № 8; 7) Маевский О. А., Долбня В. Т., Ионные преобразователи с несимметричным сеточным управлением и нулевыми вентилями, «ИВУЗ. Энергетика», 1960, № 6.

О. А. Маевский.

КОЭФФИЦИЕНТ МОЩНОСТИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА (electric drive power coefficient; facteur de puissance d'une commande électrique; Leistungskoeffizient des elektrischen Antriebs, Leistungsfaktor des elektrischen Antriebs) — отношение потребляемой электроприводом активной мощности к кажущейся. При синусоид. напряжении и токе К. м. э. равен косинусу угла сдвига фаз между кривыми напряжения и тока (cosφ). При пост. активной мощности, потребляемой электроприводом, увеличение реактивной мощности и, соответственно, снижение К. м. э. вызывает увеличение полного тока в проводниках звеньев электрич. системы (генераторов, линий передач и др.). Это приводит к увеличению затраты черных и цветных металлов, изоляц. материалов, габаритов, утяжелению вспомогат. аппаратуры и др. Кроме того, рост реактивной мощности повышает потери напряжения и тем самым резко ухудшает условия регулирования напряжения и препятствует норм. работе параллельно включенных генераторов. Все это обусловливает стремление иметь высокий cos φ электроустановок.

На пром. пр-тиях основными потребителями реактивной мощности являются трехфазные асинхр. двигатели, на долю к-рых приходится св. 70% от всей реактивной мощности, и тр-ры — до 20%. Заметное снижение реактивных нагрузок достигается правильным подбором номин. мощности асинхр. двигателей для привода рабочих машин, переключением недогруж. асинхр. двигателей с треугольника на звезду или заменой их менее мощными, использованием ограничителей хх в схемах управления асинхр. двигателями, улучшением качества их ремонта, а также применением синхр. двигателей взамен асинхронных (где это возможно по условиям технологич. процесса). Дальнейшее снижение реактивных нагрузок возможно с помощью компенсирующих устройств (конденсаторов и перевозбужденных синхр. машин), устанавливаемых у потребителя или в непосредств. от него близости. Величина реактивной мощности, вырабатываемой конденсаторами, прямо пропорциональна их емкости и квадрату напряжения сети, в к-рую эти конденсаторы включены. При использовании в качестве компенсатора синхронной машины уменьшение

реактивной мощности достигается за счет дополнит. потерь энергии — потерь хх машины и мощности, идущей на ее возбуждение. Для поддержания cos φ на требуемом уровне при колебаниях реактивной нагрузки необходимо применять автоматич. регулирование возбуждения синхронной машины, либо автоматич. изменение числа включенных конденсаторов.

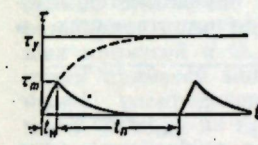
Необходимая мощность компенсирующего устройства определяется из выражения

$$Q_c = \frac{W_a (\operatorname{tg}\varphi_1 - \operatorname{tg}\varphi_2)\,\alpha}{t_п} \text{ квар},$$

где W_a — потребление активной энергии за наиболее нагруженный месяц (*квт-ч*); tg φ_1 — тангенс угла сдвига фаз, соответствующий средневзвешенному косинусу за наиболее нагруженный месяц; tg φ_2 — тангенс угла сдвига фаз, косинус к-рого должен быть принят в пределах 0,92—0,95; α — расчетный коэфф., равный 0,8—0,9, учитывающий возможность повышения cos φ на действующих пр-тиях за счет улучшения режимов работы электрооборудования (для вновь проектируемых пр-тий этот коэфф. принимается равным единице); $t_п$ — число часов работы пр-тия в течение месяца.

Г. М. Иванов.

КРАТКОВРЕМЕННЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ электрического аппарата (short-time duty cycle; régime transitoire de fonctionnement; Kurzzeit-Betriebsart) — номинальный режим работы аппарата, при котором продолжительность включ. состояния недостаточна для того, чтобы температура всех частей аппарата достигла установившегося значения, а продолжительность последующего отключ. состояния достаточна для полного остывания всех его частей до темп-ры окружающей среды. На рис. дан график изменения превышения темп-ры аппарата τ во времени в предположении, что процессы нагрева и охлаждения происходят по экспоненц. законам: при нагреве $\tau = \tau_y(1 - e^{-t/T})$, при охлаждении $\tau = \tau_m e^{-t/T}$, где t — время, отсчитываемое от начала соответствующих интервалов; $T = C/A$ — тепловая постоянная времени; A — теплоотдача с токоведущих частей; C — теплоемкость токоведущих частей; $\tau_y = \frac{P}{A}$ — установившееся значение превышения темп-ры при нагреве; P — мощность, выделяемая в аппарате; τ_m — наибольшее значение превышения темп-ры в конце интервала нагрева.



Изменение темп-ры аппарата во времени.

При К. р. р. должны соблюдаться неравенства: $t_н < 3T$ и $t_п > 3T$, где $t_н$ — время нагрева (включения); $t_п$ — время паузы (охлаждения, отключения). Пусть допустимое превышение темп-ры равно $\tau_д$. В длит. режиме работы ему соответствуют тепловые потери $P_д$. Такому же превышению темп-ры $\tau_m = \tau_д$ в К. р. р. соответствуют тепловые потери P, причем $P = \frac{P_д}{1 - e^{-t_н/T}}$. В К. р. р. допустимы бо́льшие тепловые потери в токоведущих частях, чем в длит. режиме работы. Величина их в К. р. р. зависит от длительности интервала нагрева $t_н$. Весьма кратковрем. нагрев, когда $t_н \ll T$, протекает адиабатически, без отдачи тепла в окружающее пространство. Все тепло идет на повышение темп-ры тела. Превышение темп-ры в этом случае растет пропорционально времени $\tau = \frac{P}{C} t$. *Е. Л. Львов.*

КРЕМНИЙ (Silicium; Silicium; Silizium) — элементарный ПП; один из основных материалов ПП техники; принадлежит к IV группе периодич. системы Менделеева. Ширина запрещенной зоны составляет 1,21 *эв* при 0°К и 1,09 при 300°К. Это обусловливает работу кремниевых приборов при более высоких темп-рах, чем германиевых, и приводит к значит. снижению обратных токов в *p-n*-переходах ПП приборов.

Основные физико-химич. свойства К. приведены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства	Единица измерения	Численное значение
Атомный номер	—	14
Атомный вес	—	28,06
Постоянная решетки типа алмаза	Å	5,431
Плотность при 25°	*г/см³*	2,32
Коэфф. линейного теплового расширения при темп-рах 10—50°	*град⁻¹*	$6{,}95 \cdot 10^{-6}$
Темп-ра плавления	°С	1412±2
Темп-ра кипения	°С	2600
Теплопроводность при 25°	*кал / см·сек·град*	0,26
Уд. теплоемкость в интервале темп-р 20—100°	*кал / г·град*	0,181
Теплота плавления	*ккал / г·атом*	12,1±0,1
Поверхностное натяжение вблизи точки затвердевания (в атмосфере аргона)	*дин / см*	720
Диэлектрич. проницаемость	—	12,5
Магнитная восприимчивость	ед. СГС	$-1{,}3 \cdot 10^{-6}$
Показатель преломления при $\lambda > 1{,}1$ *мкм*	—	3,44—3,56
Температура Дебая	°К	660

К. не встречается в природе в свободном состоянии, хотя и является вторым по распространенности элементом на Земле, составляя основу кварца и др. минералов. К. может быть выделен в элементарном виде при высокотемпературном восстановлении SiO_2 углеродом. При этом чистота К. после кислотной обработки составляет ~99,8%, и для ПП приборов в таком виде он не применяется. К. высокой чистоты получают из предварительно хорошо очищенных его летучих соединений (галогенидов, силанов) либо при их высокотемпературном восстановлении цинком или водородом, либо при их термич. разложении. Выделяющийся при реакции К. осаждается на стенках реакционной камеры или на спец. теле нагрева — чаще всего на прутке из высокочистого К. Наиболее перспективные методы получения К. высокой чистоты: водородное восстановление тетрахлорида К. и трихлорсилана, термич. разложение его водородных соединений. Эти методы позволяют получать К. с остаточным содержанием примесей менее одной части на миллиард частей К., что отвечает уд. сопротивлению более 1000 *ом·см*.

Монокристаллы К., чистые или легированные определенными примесями, получают вытягиванием из расплава (см. *Выращивание монокристаллов по Чохральскому*) или методами бестигельной *зонной плавки*. Последние исключают загрязнения примесями из кварца и кислородом, имеющиеся при тигельном вытягивании. Наибольшая степень очистки достигается при зонной плавке в атмосфере увлажненного Н, когда из расплава за счет окисления водяным паром удаляется В, очистка от которого при обычной зонной плавке затруднена. Таким методом могут быть получены монокристаллы с уд. сопротивлением более 15 000 *ом·см*. Применение магнитного поддержания расплавленной зоны при бестигельной зонной плавке позволяет значительно увеличить диаметр получаемых монокристаллов и повысить производительность процесса. Трудности при получении чистого К. связаны с чрезвычайно большой хим. активностью расплавленного К., к-рый реагирует с большинством элементов. При комнатной темп-ре хим. активность К. незначительна. Хим. травление К. обычно производится в смеси плавиковой и азотной кислот, а также в растворах щелочей.

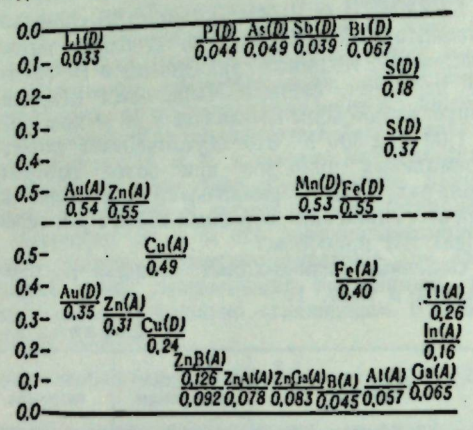


Рис. 1. Энергетич. уровни примесей в кремнии. Для уровней, располож. выше середины запрещенной зоны, энергия отсчитывается от дна зоны проводимости; для уровней — ниже середины запрещенной зоны — от верхнего края валентной зоны. В скобках: *A* — акцептор; *D* — донор.

Концентрация примесей в монокристалле и характер их распределения по объему во многом определяются такими св-вами примесей, как коэфф. распределения между жидкой и твердой фазами, предел растворимости и коэфф. диффузии (см. *Диффузия примесей* в ПП). Значения коэфф. распределения для ряда примесей в К. собраны в табл. 2.

Из всех перечисл. примесей лишь В имеет коэфф. распределения в К. близкий к единице, что затрудняет очистку от него металлургич. методами. Поэтому В из К. стремятся удалить в процессе глубокой хим. очистки, предшествующей получению монокристалла. Пределы растворимости примесей (табл. см. *Диффузия примесей* в ПП) важны для оценки возможности получения монокристалла из расплава данного состава. Бо́льшая же часть примесей в К. имеет ретроградную растворимость. Макс. растворимость наблюдается в интервале темп-р 1200—1300° и может быть грубо оценена по значению коэфф. распределения:

$$C_{\text{тв макс}} \gtrsim 0{,}05\ K,$$

где $C_{\text{тв макс}}$ выражается в атомных долях. Температурная зависимость растворимости может быть найдена из диаграмм состояния (см. лит.). Данные по диффузии различных примесей в К. еще далеко не полны. В отличие от Ge, акцепторы в К. диффундируют быстрее доноров. Нек-рые примеси диффундируют в К. очень быстро, напр. Cu, Fe, Li, Au. Предполагается, что их атомы диффундируют по междоузлиям.

Электрич. свойства К. определяются природой и количеством присутствующих в монокристалле примесей и структурных дефектов. Каждая примесь дает свои энергетич. уровни в запрещенной зоне К. (рис. 1), влияя на уд. сопротивление или время жизни носителей заряда. Необходимо отметить, что рекомбинац. свойства примесей в К. пока изучены недостаточно. Собственное уд. сопротивление К. при комнатной темп-ре составляет $\sim 3 \cdot 10^5$ *ом·см*, что отвечает собственной концентрации свободных носителей тока около 10^{10} *см*$^{-3}$. Влияние примесей на подвижность изучено в широком диапазоне концентраций элементов III и V групп. При этом показано, что в монокристаллах с концентрацией примесей порядка 10^{14} *см*$^{-3}$ и менее при темп-рах выше 150°К рассеяние на примесях пренебрежимо мало. Подвижности носителей тока при 300°К в этих условиях будут: $\mu_n = 1900$ *см*^{2}/*в·сек*, $\mu_p = 425$ *см*^{2}/*в·сек* (холловская) и $\mu_n = 1360$ *см*^{2}/*в·сек*, $\mu_p = 510$ *см*^{2}/*в·сек* (дрейфовая). С увеличением концентрации ионизованных примесей роль примесного рассеяния возрастает; в сильно легированном К. (концентрация носителей $> 10^{16}$ *см*$^{-3}$) рассеяние на ионизованных примесях также играет большую роль; это приводит к резкому снижению подвижности при комнатной темп-ре в образцах с уд. сопротивлением ниже 1 *ом·см* (рис. 2). Нейтральные примеси даже в концентрациях $\sim 10^{18}$ *см*$^{-3}$ не оказывают заметного влияния на подвижность.

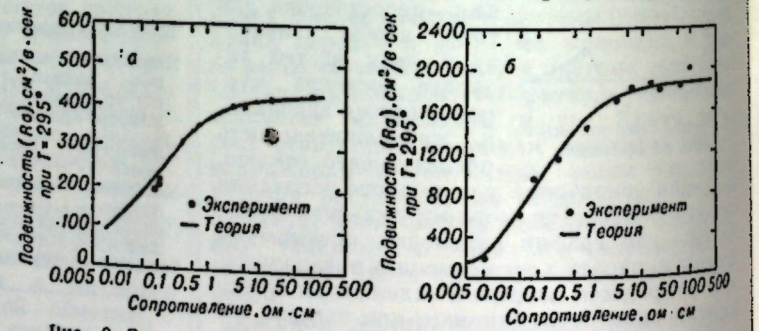


Рис. 2. Зависимость холловских подвижностей от сопротивления в монокристаллах кремния: *а* — *p*-типа и *б* — *n*-типа.

Таблица 2

Примесь	Коэфф. распределения $K = C_{\text{тв}}/C_{\text{ж}}$	Примесь	Коэфф. распределения $K = C_{\text{тв}}/C_{\text{ж}}$
Li	0,01	P	0,35
Cu	$4 \cdot 10^{-4}$	As	0,3
Au	$2{,}5 \cdot 10^{-5}$	Sb	0,023
Zn	$\sim 1 \cdot 10^{-5}$	Bi	$7 \cdot 10^{-4}$
B	0,8	O	0,5
Al	0,0020	S	10^{-5}
Ga	0,0080	Mn	$\sim 10^{-5}$
In	$4 \cdot 10^{-4}$	Fe	$8 \cdot 10^{-6}$
Ge	0,33	Co	$8 \cdot 10^{-6}$
Sn	0,016	Ta	10^{-7}
N	10^{-7} (?)		

Активными центрами рекомбинации в монокристаллах К. являются Fe, Cu, Au. Они существенно влияют на время жизни неосновных носителей заряда уже в таких малых концентрациях, как 10^{12}—10^{13} *см*$^{-3}$. Помимо центров рекомбинации, в К. обнаружены различного рода ловушки нерекомбинац. типа, уровни прилипания, приводящие к искажениям результатов в процессе измерения *времени жизни носителей заряда*. Природа этих ловушек еще неясна, однако показано, что их появление связано с условиями выращивания монокристалла.

Большое внимание уделяется изучению взаимодействия различных примесей между собой в монокристаллах К. Взаимодействие примесей с образованием комплексов приводит к значит. изменению положения примесных энергетич. уровней в образце. Это видно на примере образцов К., легированных одновременно В и Zn, Ga и Zn, Al и Zn (рис. 2). В таких образцах не проявляются уровни, характерные для каждой из примесей в отдельности. Несомненно, что электрич. свойства монокристалла при таком двойном легировании сильно меняются. К этому же приводит и совместное присутствие в образцах акцепторных примесей и О. В результате взаимодействия примесей могут значительно меняться коэфф. распределения и пределы растворимости каждой из примесей. Напр., в результате взаимодействия В и Li растворимость Li в К. заметно возрастает. Электрич. свойства монокристаллов могут меняться не только при взаимодействии примесей между собой, но и при взаимодействии примесей со структурными *дефектами кристалла*. Основными структурными дефектами в монокристаллах К. являются дислокации (см. *Плотность дислокаций*). Имеются убедительные доказательства существования примесных атмосфер вокруг дислокаций в выращенных монокристаллах К.: уменьшение скорости образования ямок травления на дислокациях при увеличении содержания О в монокристалле, сильное изменение рекомбинационной активности дислокаций при изменении скорости роста кристаллов и т. д. Образование примесных атмосфер на дислокациях в К. было использовано для декорирования дислокаций и наблюдения их в инфракрасном свете. Дислокации с примесной атмосферой, как правило, меньше влияют на скорость рекомбинации, чем «чистые дислокации». С этим связано, напр., увеличение времени жизни носителей заряда в монокристаллах К. с повышенным содержанием О, а также при диффузии в них Cu и Ni.

Электрич. свойства монокристаллов К. могут сильно изменяться при *термообработке*. При нагреве образцов К., содержащих О, при темп-ре 400—500° концентрация донорных центров в них возрастает и может достигать 10^{16} *см*$^{-3}$ и более. Последующий нагрев таких образцов до темп-ры 1000—1200° приводит к исчезновению появившихся донорных центров. При повторной термообработке (400—500°) тех же образцов Si количество образующихся термодоноров уменьшается, и после неск. циклов низко- и высокотемпературной термообработки они практически не образуются. Нагрев образцов до 1300—1400° снова делает возможным образование термодоноров в интервале темп-р 400—500°. Все описанные изменения очень чувствительны к условиям роста кристаллов. Образцы, полученные методом бестигельной зонной плавки ведут себя при термообработке иначе, чем образцы, полученные методом вытягивания из расплава.

Термообработка оказывает существенное влияние и на время жизни неосновных носителей заряда. Напр., нагрев образцов до 300° и выше с последующим быстрым охлаждением приводит к уменьшению времени жизни. Особенно сильные изменения происходят при нагреве образцов выше 1000°. Однако во многих случаях эти изменения удается предотвратить. С этой целью применяются: предварит. обработка поверхности образцов спец. органич. реактивами, отжиг образцов в различных атмосферах, в т. ч. хлоридов P и B, медленное охлаждение образцов после отжига, использование гетерирующих окислов, напр. P_2O_5, и диффузия в образцы ПП при отжиге металлов (Cu, Ni). Изменение свойств монокристаллов К. при термообработке обусловлено изменением состояния присутствующих в них примесей и их сложным взаимодействием между собой и со структурными дефектами. При высокотемпературной термообработке учитывают и влияние диффузии в образцы ПП примесей из аппаратуры.

Монокристаллы К. широко применяются в ПП технике. Из них изготовляют различного типа *диоды полупроводниковые* от маломощных, используемых в радиотехнике, до мощных силовых выпрямителей, применяемых на электростанциях, ж.-д. транспорте и т. д., и *транзисторы*. Значительные количества К. идут на изготовление *солнечных батарей*, оптич. линз, рассчитанных на работу в ИК области спектра, основы счетчиков ядерных излучений, *фотодиодов* и *фотосопротивлений*.

Лит.: Шашков Ю. М., Металлургия полупроводников, М., 1960; Красюк Б. А., Грибов А. И., Полупроводники германий и кремний, М., 1961; Данлэп У., Введение в физику полупроводников, пер. с англ., М., 1959; Кремний. Сб. статей, пер. с англ., под ред. Д. А. Петрова, М., 1960; Conwell E. M., Properties of silicon and germanium-2, «Proc. I.R.E.», 1958, v. 46, № 6, p. 1281.

М. Г. Мильвидский.

КРИОГЕННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ (в вычислит. технике) [cryogenic (supraconductive) elements; éléments cryogéniques; Tieftemperatur-Elemente]—запоминающие и логич. элементы, основанные на использовании явления сверхпроводимости при взаимодействии с нек-рыми др. физич. эффектами. Разработано несколько типов К. э.: криотроны, ячейки Кроу, персисторы, криосары и др. Первый К. э.— криотрон, был предложен амер. ученым Д. А. Баком в 1955. Принцип его работы основан на управлении посредством магнитного поля состоянием проводимости. У ряда металлов (Nb, Pb, Ta, Sn, Cd и др.) при охлаждении их до нек-рой критич. темп-ры $T_{\text{кр}}$ возникает явление сверхпроводимости. Однако и при темп-ре ниже критической состояние сверхпроводимости может быть разрушено внешним магнитным полем, если его напряженность

достигнет определ. критической или пороговой величины $H_{кр}$. Зависимость $H_{кр}$ от темп-ры: $H_{кр}=H_0[1-(T/T_{кр})^2]$, где H_0—хар-ка данного сверхпроводника (напр., для Nb $H_0=2600$ э, а для Cd $H_0=28{,}3$ э). На рис. 1 все точки плоскости, располож. слева от соответствующей кривой, относятся к области сверхпроводимости, а справа от кривой — к области норм. сопротивления данного металла.

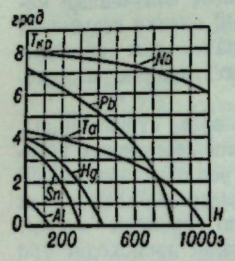


Рис. 1.

В первонач. варианте криотрон (рис. 2, *а*, *б*) представлял собой танталовый стержень длиной ок. 25 *мм* и диаметром ок. 0,25 *мм* с обмоткой из 250 витков изолированной ниобиевой проволоки диаметром 0,08 *мм*. Прибор помещался в криостат, охлаждаемый жидким гелием до 4,2°К, при к-рой и Ta и Nb находятся в состоянии сверхпроводимости. Если пропустить по обмотке ток такой величины, чтобы создать магнитное поле с напряженностью около 40 *э*, то сверхпроводимость танталового стержня разрушится и его сопротивление скачкообразно изменится от нуля до нек-рой величины. Можно провести аналогию между криотроном и тиратроном, причем управляющая обмотка первого играет роль сетки тиратрона, однако в тиратроне сетка управляет лишь моментом его зажигания, а в криотроне после прекращения тока в обмотке восстанавливается сверхпроводимость танталового стержня. Криотрон можно использовать как пороговый элемент (реле). Пока стержень находится в сверхпроводящем состоянии, в цепи при ничтожно малом прилож. напряжении будет протекать достаточно большой ток, а при восстановлении норм. сопротивления стержня ток в цепи будет резко снижаться. При таком применении обмотка криотрона может выполняться из любого металла, в т. ч. и не обладающего сверхпроводящими св-вами. При использовании криотронов как элементов триггерной схемы сопротивление обмотки должно всегда оставаться равным нулю независимо от величины изменяющегося в нек-рых допустимых границах магнитного поля. Поэтому в качестве материала обмотки выбирают Nb, имеющий критич. темп-ру 8°К и весьма большое критич. поле при рабочей темп-ре 4,2°К. В дальнейших разработках стержни криотронов изготовлялись из Sn, а обмотки — из Pb. Т. к. для Sn $T_{кр}=3{,}69$°К, то рабочая темп-ра должна поддерживаться ок. 3,5°К.

В схеме триггера на двух криотронах (рис. 2, *в*) ток может протекать по двум параллельным ветвям, каждая из к-рых включает обмотку одного и стержень др. криотрона. Оба криотрона находятся в криостате с темп-рой 4,2°К, при к-рой в отсутствии магнитного поля стержни и обмотки обладают нулевым сопротивлением. Если ток в любой из ветвей, напр. в ветви, состоящей из обмотки первого криотрона O_1 и стержня второго криотрона C_2, достигнет критич. величины, при к-рой магнитное поле, созданное обмоткой O_1, разрушит сверхпроводимость стержня C_1, то сопротивление ветви C_1—O_2 станет конечным, и практически весь ток будет протекать по первой ветви O_1—C_2. Такое неравновесное состояние устойчиво и при включ. питании будет сохраняться сколь угодно долго. Равновероятно установление и др. устойчивого неравновесного состояния, при к-ром весь ток протекает по ветви C_1—O_2, а сопротивление ветви O_1—C_2 имеет конечную величину вследствие разрушения сверхпроводимости C_2 током обмотки O_2.

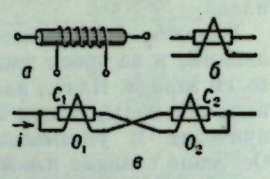


Рис. 2.

Рис. 1. Кривые зависимости $H_{кр}=f(T)$ для нек-рых сверхпроводников.

Рис. 2. *а* — Схема криотрона; *б* — условное обозначение криотрона; *в* — триггер на двух криотронах.

На рис. 3 приведена схема одного из вариантов управляемого двоичного запоминающего элемента на криотронах. Информация

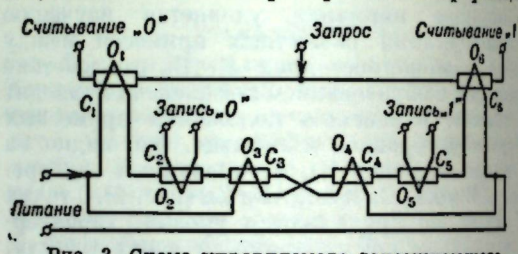


Рис. 3. Схема управляемого запоминающего элемента на 6 криотронах.

в элемент записывается подачей импульсов на соответствующие зажимы «0» или «1». При этом токи перераспределяются между ветвями $O_1C_2C_3O_4$ и $O_3C_4C_5O_6$. Для считывания информации подается импульс на вход запроса; в зависимости от состояния стержней C_1 и C_6, управляемого токами обмоток O_1 и O_6, импульс запроса попадает на выход считывания «0» или «1».

В 1959 амер. ученые У. Л. Ньюхауз и Дж. М. Бремер предложили усовершенствов. конструкцию крестообразного пленочного криотрона, допускающего переключение за 0,3—0,4 *мксек*. На криотронах разработаны и испытаны макеты кольцевых генераторов, ЗУ, сдвигающих регистров и сумматоров.

Более просты и совершенны запоминающие К. э. с круговыми токами в сверхпроводящей среде, не требующие для управления магнитного поля. Действие их основано на циркуляции тока, введенного в сверхпроводящий замкнутый контур, в течение длит. времени практически без затухания. Это позволяет создать бистабильный элемент, одно состояние которого характеризуется циркуляцией тока в определ. направлении, а другое — либо отсутствием тока, либо циркуляцией его в противоположном направлении.

Удачным конструктивным решением подобного элемента является ячейка Кроу (рис. 4, *а*). На пластинку из стекла, слюды или др. диэлектрика осаждают через маску тонкий слой Sn или Pb. Это покрытие имеет форму «пряжки», т. е. содержит круглый участок, свободный от покрытия, с диаметральной металлич. перемычкой. По обеим сторонам перемычки и параллельно ей расположены проводники записи и считывания, к-рые через перемычку индуктивно связаны со сверхпроводящим контуром, образованным *D*-образными отверстиями. Проводники наносятся осаждением металла или методом печатного монтажа. Когда по проводу записи пропускается импульс тока, в перемычке и др. участках сверхпроводника, вследствие индуктивной связи, индуктируются токи соответствующего направления (рис. 4, *б*).

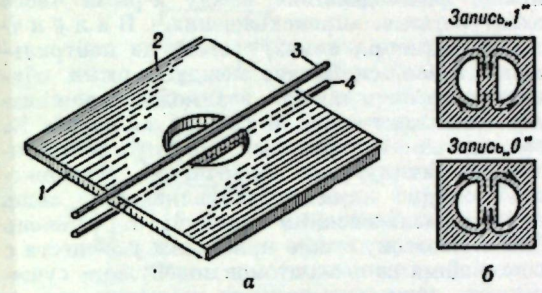


Рис. 4. Ячейка Кроу: *а* — конструкция (*1* — пластинка из диэлектрика, *2* — слой сверхпроводника, *3* — провод записи, *4* — проводник считывания); *б* — распределение токов.

Проводник считывания образует как бы третью обмотку тр-ра, эффективно экранированную сверхпроводящей перемычкой от провода записи. Поэтому эдс в проводнике считывания индуктируется лишь при изменении направления тока в перемычке и не возникает под влиянием повторных импульсов записи в проводе записи. Считывание информации здесь сопровождается ее разрушением. Время переключения ячейки ок. 10 *нсек* при амплитуде управляющих импульсов 50—150 *ма* и выходном сигнале порядка 5 *мв*. Объем ЗУ, включающего около миллиона таких бистабильных элементов, может быть ограничен кубом со стороной 30 *см* (без цепей управления и криогенной установки). Однако при этом весьма трудна и практически еще не решена задача ввода многих сотен схемных проводов в криостат, содержащий запоминающие элементы.

В качестве бистабильного запоминающего элемента может применяться и др. элемент

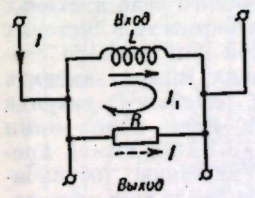


Рис. 5. Идеализированная модель персистора.

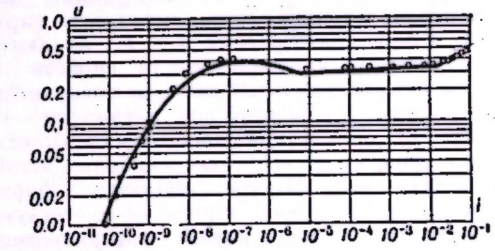
с круговыми токами — персистор. Идеализиров. модель персистора (рис. 5) представляет собой параллельное соединение двух сверхпроводников, один из к-рых R имеет малую индуктивность и изготовлен из металла с небольшим критич. магнитным полем $H_{кр}$, а др. L — большую индуктивность и изготовлен из металла с большим $H_{кр}$. Импульс тока I (пунктирная стрелка), протекая в первый момент лишь по ветви R, создает магнитное поле, достаточное для разрушения сверхпроводимости этой ветви. Затем происходит перераспределение токов, и ток течет в ветви L (сплошная стрелка). После окончания импульса записи в ветви R восстанавливается сверхпроводимость, а энергия, запасенная в индуктивности L, создает в замкнутом контуре ток $I_1<I$. Этот ток, будучи меньше критического, не разрушает сверхпроводимости R и может циркулировать в контуре неограниченно долго. Записанная в персисторе информация («0» или «1») определяется направлением тока. Считывание информации — разрушающее и осуществляется подачей в него импульса записи нуля. При этом, если ранее была записана единица, то входной и контурный токи в ветви R складываются, сверхпроводимость R разрушается и на выходе появляется импульс считывания. Один из вариантов конструкции персистора содержит ветвь R из напыленной оловянной пленки и ветвь L из 2 витков напыленного свинца. Время переключения 20—100 *нсек*. Напряжение считывания около 0,1 *в* при токе переключения 300 *ма*. Плотность упаковки ЗУ на персисторах достигает 35 элементов на 1 *см*^{2}.

К. э. просты по конструкции, дешевы и имеют малые размеры. Химич. активность и диффуз. процессы при сверхнизких темп-рах приостанавливаются, что повышает надежность устройств. Тепловые флуктуации и, соответственно, уровень шумов у К. э. весьма малы. Потери энергии в них ничтожны. Все это обеспечивает возможность создания на К. э. вычислит. машин объемом порядка десятков *дм*^{3} при мощности питания в единицы *вт*. При этом не учитывается мощность, затрачиваемая на работу криогенной установки, к-рая, однако, не превышает мощности устройств охлаждения машин на электронных лампах. При количестве элементов больше 10^5—10^6 машины на К. э. могут успешно конкурировать с др. типами машин по экономичности, габаритам, стоимости и др. показателям, за исключением быстродействия, по к-рому они уступают машинам на туннельных диодах.

Лит.: Крайзмер Л. П., Новые элементы электронных цифровых машин, М.— Л., 1961; Использование криогенных явлений в технике. [Обзор сост. Л. Н. Неплюевым и В. Б. Федоровым], «ЗР», 1961, № 6.

Л. П. Крайзмер.

КРИОСАР (kryosar; relais à semi-conducteurs pour températures basses; Kryosar, Tiefsttemperatur-Schaltgerät auf Halbleiterbasis) — быстродействующий ПП прибор, служащий для переключения электрич. цепей при низких температурах (темп-ре жидкого гелия). Действие его основано на ударной ионизации и рекомбинации примесей в ПП. На рис. приведена вольтамперная хар-ка К.— пластины германия *p*-типа с примесями металлов III и IV групп элементов таблицы Менделеева толщиной 0,039 *см*, диаметром омич. контактов 0,1 *см* при темп-ре 4,2°К. Скорость переключения К. ограничивается



Вольтамперная хар-ка криосара.

временем перехода ПП из состояния высокого сопротивления в состояние низкого сопротивления вследствие ударной ионизации. Время, необходимое для изменения тока от 10^{-5} *а* до 10^{-2} *а*, меньше 10^{-8} сек. Время деионизации — 10^{-10} сек. Мощность рассеяния К. не более 10^{-6} *вт*. Он может работать от импульсов с частотой св. 10 *Мгц*.

Конструктивно К. представляет собой небольшой объем ПП, заключенный между двумя электродами. Т. к. краевой эффект незначителен, то неск. К. могут располагаться на одной пластине ПП. Напр., 625 независимых К. размещаются на пластине площадью 1 *см*² толщиной 0,012 *см*, причем каждый К. имеет контакты 0,012 *см* диаметром, расположенные на расстоянии 0,028 *см* друг от друга. Управление работой К. возможно также с помощью света. При этом электрич. смещение и амплитуда импульса, приложенные к К., выбираются такими, чтобы было возможно переключение его из состояния высокого сопротивления в состояние низкого сопротивления только тогда, когда он освещен. К. может быть использован также как диод, элемент памяти или мультивибратор.

Лит.: McWhorter A.L., Rediker R.H., The cryosar—a new low-temperature computer component, «Proc. I.R.E.», 1959, v. 47, № 7; Finke G., Lautz G., Zur Stossionisation in Germanium-Einkristallen im Temperaturbereich von 4, 2°K bis 10°K, «Z. Naturforsch.», 1957, Bd 12a, H. 3; Koenig S.H., Rate processes and low-temperature electrical conduction in n-type germanium, «Phys. Rev.», 1958, ser. 2, v. 110, № 4, p. 986—88; McWhorter A. L., Effect of light on impurity conduction in germanium, «Bull. Amer. Phys. Soc.», 1959, ser. 2, v. 4, № 3.

Л. В. Лакунина.

КРИСТАЛЛ (crystal; cristal; Kristall) — макроскопическое тело с упорядоченно расположенными составляющими его атомами (молекулами). Расположение взаимодействующих атомов или молекул данного вещества, соответствующее миним. потенциальной энергии их взаимодействия, образует кристаллич. решетку. При низких темп-рах и внешних давлениях она имеет устойчивую форму. При более высоких давлениях и темп-рах устойчивой формой может оказаться иная решетка, соответствующая минимуму термодинамич. потенциала (лишь при абс. нуле и в отсутствие давления величина термодинамич. потенциала совпадает с потенциальной энергией).

Т. к. энергия взаимодействия атомов и молекул определяется ближним порядком — их положением относительно ближайших соседей, то один и тот же ближний порядок можно встретить во всех участках кристалла, т. е. кристаллич. решетка является периодической структурой. Миним. совокупность атомов или молекул, повторением к-рой (параллельным переносом) образован весь кристалл, наз. элементарной ячейкой.

Макроскопические св-ва К., такие, как диэлектрич. проницаемость, константы упругости, коэфф. преломления и т. п., являются анизотропными (неодинаковость свойств по разным направлениям). Удельная поверхностная энергия (поверхностное натяжение) К. зависит от ориентации поверхности относительно решетки К. Поэтому наиболее устойчивой внешней формой является форма многогранника, грани к-рого соответствуют ориентациям с наименьшей поверхностной энергией. Тенденция К. приобретать такую форму проявляется при его росте и при раскалывании крупного К. на мелкие.

По характеру сил сцепления между атомами или молекулами К. делятся на 4 типа: металлические, ионные (или полярные), валентные (или гомеополярные) и молекулярные (или ван-дер-ваальсовские); кроме того, имеются кристаллы, занимающие промежуточные положения между этими типами. Решетка металлич. К. (напр., меди) состоит из электроположит. ионов. Все валентные электроны свободно перемещаются по решетке, образуя электронный газ (в др. К. они локализованы возле отдельных атомов). Решетка ионных К. (напр., поваренной соли) состоит из электроположит. и электроотрицат. ионов, взаимодействие между к-рыми чисто электростатич. происхождения. Валентные К. (напр., алмаз) состоят из нейтральных атомов, сцепление между к-рыми обусловливается гл. обр. взаимодействием валентных электронов. Молекулярные К. состоят из нейтральных молекул или атомов с замкнутыми оболочками. Притяжение между ними обусловливается лишь ван-дер-ваальсовскими силами, т. е. очень слабо. Поэтому такие кристаллы у веществ, состоящих из неск. атомов молекулами существуют лишь при низких температурах, а при комнатной темп-ре соответствующие вещества находятся в газообразном состоянии. Примерами молекулярных К. служат К. благородных газов, водорода и метана. Молекулярные К. органич. веществ с большими молекулами могут существовать и при сравнительно высоких темп-рах, тем более высоких, чем крупнее молекулы.

В электронике большое распространение получили приборы, основанные на явлениях, происходящих в К., напр. в *германии* и *кремнии*, на базе к-рых создаются ПП приборы (см. *Диод* и *Транзистор*).

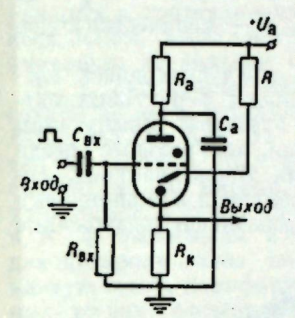
Лит.: Ферми Э., Молекулы и кристаллы, пер. с нем., М., 1947; Зейтц Ф., Современная теория твердого тела, пер. с англ., М.— Л., 1949.

А. Л. Захарч.

КРИСТАЛЛИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ (crystal amplifier; amplificateur cristallin; kristallischer Verstärker) — то же, что *парамагнитный усилитель квантовый*, один из видов *мазеров*.

КРИТРОН (pulse cold-cathod electron tube; tube électronique à impulsions à cathode froide; Kaltkathoden - Gasentladungsgerät für Ionen-Impulsbetrieb) — импульсный ионный прибор дугового разряда с холодным катодом. Используется в качестве ионного реле в схемах генераторов импульсов, в частности в системах для зажигания двигателей внутреннего сгорания. В нек-рых случаях может заменять импульсные тиратроны дугового разряда (с накаленным катодом), имея перед ними преимущество в малом (0,2—10 *мксек*) времени для подготовки к действию (обусловленном предварит. ионизацией за счет подготовит. разряда) и экономичности (отсутствие накала). В К. используются два типа разряда: самостоят. тлеющий (подготовительный) и дуговой — при прохождении импульса тока. Наполнен прибор Ar, Ne, H_2 или их смесями. К. имеет анод, катод, управляющую сетку и вспомогат. электрод, разряд на к-рый обеспечивает начальную ионизацию. Ток подготовит. разряда составляет от неск. *мка* до 2—5 *ма*, анодное напряжение прибора 1000—3000 *в*. При подаче на управляющую сетку импульсного или пост. напряжения 200—500 *в* в промежутке анод — катод развивается дуговой разряд. В результате возникает импульс тока 100—10 000 *а*, к-рый определяется анодным напряжением, нагрузочным сопротивлением и величиной емкости, подключенной параллельно осн. разрядному промежутку анод — катод. Допустимый ток определяется типом К. Падение напряжения

в промежутке анод — катод составляет для разных типов К. 20—150 *в*. Время запаздывания импульса тока по отношению к импульсу на управляющей сетке — не более 10 *мксек*. Нестабильность переднего фронта импульса тока 0,05—0,4 *мксек*. На рис. дана типовая схема ионного реле, использующая К.



Типовая схема включения критрона.

Разработкой мощных приборов с холодным катодом занимаются американские и европейские фирмы. Амер. фирмы «CBS Electronics» и «КТР Electronics» в 1959 выпускали 7 типов импульсных приборов, названных ими К., на анодные напряжения 1,5—6 *кв* и импульсные токи 100—1000 *а*. Приборы выполнены в пальчиковом и сверхминиатюрном оформлениях. Фирма «Cerberus AG» (Швейцария) выпускает приборы дугового разряда с холодным катодом, имеющие такие же хар-ки, как тиратроны дугового разряда, и предназнач. для непрерывного режима. Они имеют долговечность порядка 2000 час. Эти приборы получили назв. аркотрон (arcotron). В аркотроне, так же как в К., применен подготовит. разряд, но здесь он не тлеющий, а дуговой. Выпускается 5 типов аркотронов на напряжения 500—1000 *в* и ср. значения тока — 3—6 *а*.

Лит.: «Electronics», 1959, v. 32, № 45, p. 38; «Feinwerktechnik», 1958, Bd 62, H. 11, S. 409; «Elektron. Rundschau», 1961, Bd 15, H. 1, S. 7—10.

И. А. Кондюков.

КРУГОВАЯ ДИАГРАММА (diagram of Black; diagramme circulaire; Kreisdiagramm) — диаграмма для определения частотных хар-к замкнутой САР по амплитудной фазовой хар-ке разомкнутой САР. В ТАР разработан ряд диаграмм, наз. круговыми по способу их выполнения: вещественная — для определения веществ. частотной хар-ки замкнутой системы; обратная вещественная — для определения веществ. частотной хар-ки замкнутой системы по обратной амплитудной фазовой хар-ке разомкнутой системы; мнимая — для определения мнимой частотной хар-ки замкнутой системы; обратная мнимая — для определения мнимой частотной хар-ки по обратной амплитудной фазовой частотной хар-ке разомкнутой системы; амплитудная — для определения амплитудной частотной хар-ки замкнутой системы; фазовая — для определения фазовой частотной хар-ки замкнутой системы (как пример таких К. д. см. рис. 1). Иногда К. д. совмещаются.

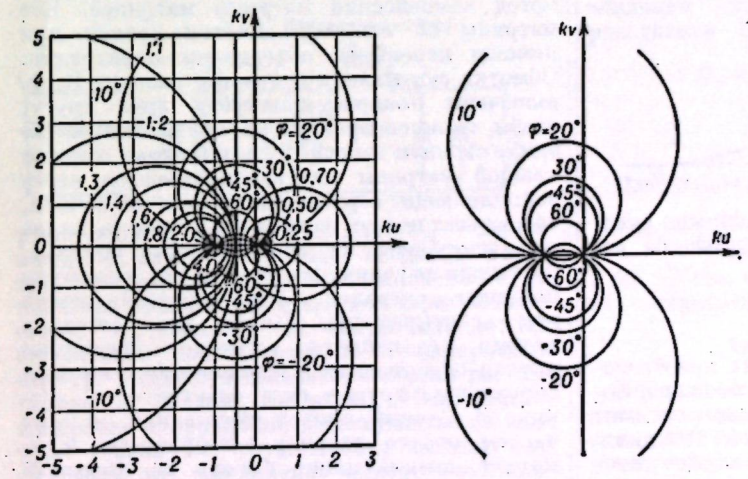


Рис. 1. Круговая диаграмма, где: *K*— передаточный коэфф.; *U* — вещественная ось; *V* — мнимая ось; φ — фазовый угол.

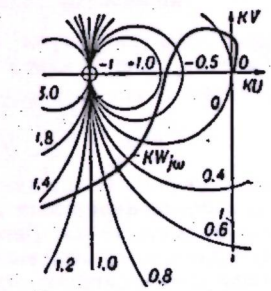


Рис. 2. Круговая диаграмма вещественная.

Круговая диаграмма вещественная. Пусть $KW(j\omega)$ есть передаточная ф-ция разомкнутой системы, а $\Phi(j\omega) = KW(j\omega)/[1+KW(j\omega)]$ — передаточная ф-ция замкнутой системы и $W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega)$, $\Phi(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega)$. После преобразования получим ур-ние окружности:

$$\left[KU + \frac{1-2P_c}{2(1-P_c)}\right]^2 + K^2V^2 = \frac{1}{4(1-P_c)^2},$$

определяющее геометрич. место точек на плоскости в прямоугольных координатах KU, KV, соответствующее заданному значению веществ. частотной хар-ки замкнутой САР $P(\omega) = P_c = \text{const}$. Это есть ур-ние окружности с центром на оси абсцисс на расстоянии $d = -(1-2P_c)/2(1-P_c)$ от начала координат и радиусом $r = \frac{1}{2(1-P_c)}$.

Задавая различные значения P_c, можно найти все семейство окружностей, построение к-рого в плоскости KU, KV дает К. д. вещественную. Для определения $P(\omega)$ К. д. вычерчивают на кальке и накладывают на $W(j\omega)$, совмещая оси чертежей. Точки пересечения $W(j\omega)$ с окружностями определяют частоту по ее отметкам на $W(j\omega)$ и значение P по индексу P_c окружности, к-рая пересекает $W(j\omega)$ при этой частоте (рис. 2).

Круговая диаграмма мнимая. Пусть $KW(j\omega)$ — передаточная ф-ция разомкнутой САР, $\Phi(j\omega) = KW(j\omega)/[1 + KW(j\omega)]$ — передаточная функция замкнутой САР и

$$W(j\omega) = U(\omega) + jV(\omega),$$
$$\Phi(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega).$$

После преобразований находим ур-ние:

$$(1+KU)^2 + \left(KV + \frac{1}{Q_c}\right)^2 = \frac{1}{4Q_c^2},$$

определяющее геометрич. место точек в плоскости KV, KU, соответствующее заданному значению мнимой частотной хар-ки замкнутой САР $Q(\omega) = Q_c = \text{const}$. Это есть ур-ние ок-

ружности радиуса $r=0{,}5|Q_c|$ и с координатами центра $(-1,\ j\frac{1}{2Q_c})$. Задавая различные значения Q_c, можно найти все семейство окружностей, к-рое и даст минимум К. д. Определение $Q(\omega)$ с помощью мнимой К. д. производится аналогично определению веществ. частотной хар-ки замкнутой САР $P(\omega)$ по веществ. К. д.

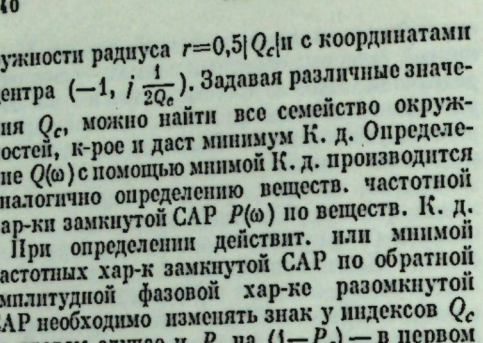
При определении действит. или мнимой частотных хар-к замкнутой САР по обратной амплитудной фазовой хар-ке разомкнутой САР необходимо изменять знак у индексов Q_c во втором случае и P_c на $(1-P_c)$ — в первом случае.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

В. А. Таран.

КРУТИЗНА ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ($S_{пр}$) (frequency converter characteristic slope; pente de la caractéristique d'un convertisseur de fréquence; Umformungssteilheit, Mischsteilheit) — основной параметр *преобразователя частоты*, показывающий, какое изменение тока выходной частоты преобразователя произойдет при определенном изменении напряжения частоты входного сигнала. К. п. равна отношению приращения амплитуды тока выходного сигнала преобразователя $\Delta I_{вых}$ к вызвавшему его приращению амплитуды напряжения входного сигнала $\Delta U_{вх}$; при этом амплитуды напряжения выходного сигнала $U_{вых}$ и напряжения гетеродина $U_г$ должны оставаться постоянными; т. о., $S_{пр}=\Delta I_{вых}/\Delta U_{вх}$ при $U_{вых}=\text{const}$ и $U_г=\text{const}$.

На практике К. п. определяется (по аналогии с определением крутизны хар-ки электровакуумных ламп в режиме усиления) с помощью хар-к преобразования. Так, для диодного преобразователя частоты К. п. в точке A (рис.) хар-ки преобразования, построенной для амплитуды напряжения входного сигнала, равной $U_{вх_2}$, определяется соотношением:



$$S_{пр\,A}=\frac{I_{вых_1}-I_{вых_3}}{U_{вх_1}-U_{вх_3}}.$$

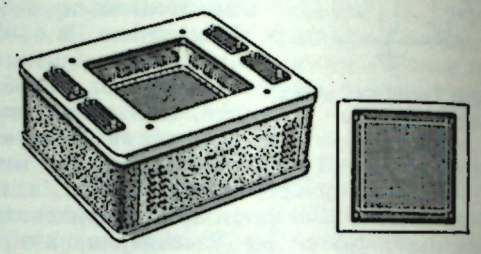
Макс. значение К. п. ламповых преобразователей частоты (триодных и пентодных) составляет примерно $^1/_2$—$^1/_4$ величины крутизны статич. хар-ки лампы. Для соврем. ПП диодных преобразователей (выполненных на кремниевых кристаллах) К. п. составляет неск. *ма/в*.

Лит.: Гуткин Л. С., Преобразование сверхвысоких частот и детектирование, М.—Л., 1953; Соколов М. А., Преобразователи частоты, М., 1957.

А. Н. Трифонов.

КУБ ФЕРРИТОВЫЙ (ferrite block; cube de ferrite; Ferrit-Speicherblock) — накопит. блок в ЗУ на ферритовых сердечниках. Представляет собой совокупность ферритовых матриц, объединенных одной конструкцией, с едиными координатными цепями или с едиными записывающими и считывающими цепями по каждому разряду. Число матриц в К. ф. для ЗУ с полутоками равно числу параллельно записываемых или считываемых разрядов кода. Для ЗУ с полным током число матриц m в К. ф. определяется по ф-ле $m=\frac{N}{K}$, где N — объем кодов К. ф., K — количество кодов в одной матрице.

Конструкция К. ф. предусматривает возможность замены отдельных ферритовых матриц. Она содержит элементы коммутации с электронными схемами, контрольные гнезда для измерения величин токов, измерит. сопротивления, шины заземления и экранировку (рис.). Конструкция обеспечивает поддержание



Куб и кассета с ферритами.

допустимого температурного режима для накопит. среды (вентиляцией, термостатированием), а в нек-рых случаях — стойкость к механич. воздействиям (ударные нагрузки, виброустойчивость и т. п.).

Электрич. монтаж в К. ф. производится т. о., чтобы электрич. и магнитные помехи были минимальными. Особенно тщательно экранируются обмотки считывания, по к-рым поступают малые сигналы изменения индукции магнитных сердечников. Широко применяются 2 метода понижения уровня помех. 1) Для предотвращения забивания усилителей считывания эдс, наводимыми от токов в режиме записи в ЗУ полного тока, используется метод компенсации матрицы матрицей. Все матрицы со стороны обмоток записи при помощи перемычек объединены поразрядно. Обмотки считывания в каждом разряде К. ф. включены попарно навстречу друг другу, чтобы скомпенсировать на считывающей обмотке сигналы записи. Т. к. выходная обмотка каждой матрицы индуктивно связана через запоминающие сердечники с обмоткой записи, то в момент подачи на обмотку записи сигналов они поступают на считывающую обмотку, превышая по величине в десятки раз амплитуду полезных сигналов. Для предотвращения этого считывающие обмотки двух соседних матриц соединяются встречно: наводимые помехи оказываются в противофазе и компенсируют друг друга в силу идентичности матриц. 2) Единый провод считывания по всем числам одного разряда алгебраически суммирует возникающие помехи и полезный сигнал со всех сердечников. Для увеличения соотношения сигнал/помеха часто провод считывания секционируют, собирая на входе усилителя считывания. Это позволяет снизить общий уровень помех, т. к. помехи при секционированной считывающей обмотке после собират. схемы на усилитель не суммируются по абс. величине, а равны макс. помехе одной из секций. В отдельных случаях для уменьшения длины считывающих обмоток усилители считывания располагаются конструктивно в К. ф.

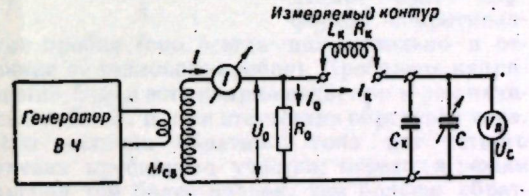
Амплитуда импульсов тока, проходящего через обмотки К. ф., составляет доли *а* и более. Большинство обмоток, как правило, одним концом объединяется на шине заземления. Поэтому для выравнивания общего потенциала и для правильных измерений токов на контрольных сопротивлениях, к-рые обычно равны неск. омам, необходимо, чтобы сопротивление шины заземления составляло доли *ома*.

К. ф. существуют на емкости от неск. десятков до неск. десятков тыс. кодов. В ЭВМ БЭСМ (СССР) К.ф. ЗУ полного тока рассчитан на емкость 1023 48-разрядных кодов и состоит из 16 матриц. Блок из 16 матриц установлен в спец. стойку. Кроме матриц, в К. ф. размещены измерит. сопротивления для контроля токов, поступающих в координатную сетку, демпфирующие диоды в выходных тр-рах формирователей полного тока, шаговый искатель для контроля формирователей токов записи. Экранировка выполнена листовой латунью толщиной 0,5 *мм*. Входные цепи усилителя считывания смонтированы бифилярным проводом, заключенным в экранирующую оплетку.

В ЭВМ ТХ-0 (США) К. ф. ЗУ с полутоками имеет емкость 65536 19-разрядных чисел и состоит из 20 ферритовых матриц (одна матрица — запасная). К. ф. содержит 1250000 ферритовых сердечников размерами 2,03×1,27×0,56 *мм* и имеет общие габариты 787,4×787,4×254,0 *мм*.

В. П. Исаев.

КУ-МЕТР (*Q*-м е т р) (Q-meter; Q-mètre; Gütefaktormesser)—прибор для измерения добротности колебат. контуров. Одновременно позволяет измерить индуктивность и емкость, параметры фидеров и линий передач, а также потери в различных элементах электрич. цепей. Методика определения параметров с помощью К.-м. основана на измерении отношения напряжений на элементах контура к величине эдс, введенной в контур; это отношение при резонансе численно



равно добротности: $Q=U_c/U_0$, где U_c — напряжение на емкости, U_0 — эдс, введенная в контур. Напряжение от широкодиапазонного генератора высокой частоты (рис.) через элемент связи $M_{св}$ подается на сопротивление R_0, включенное последовательно в измеряемый контур. Мощность генератора можно регулировать в значит. пределах. Непосредств. измерение напряжения, действующего на контур, связано с трудностями; поэтому на практике это напряжение определяют, пропуская ток известной величины по эталонному сопротивлению R_0. Для того чтобы сопротивление R_0 не уменьшало добротности измеряемого контура и чтобы ток контура $I_к$ был много меньше тока, протекающего по эталонному сопротивлению ($I_к \ll I_0$), сопротивление R_0 должно быть значительно меньше $R_к$ (в реальном К.-м. $R_0=0{,}04$ *ома*). Ток высокой частоты, проходя по сопротивлению R_0, создает на нем падение напряжения $U_c=I_0R_0$; т.к. $I_к \ll I_0$, то можно считать, что $I=I_0+I_к \approx I_0$. Контур настраивается в резонанс по макс. показаниям *лампового вольтметра* изменением частоты генератора, а также при помощи эталонного конденсатора C. Отношение показаний лампового вольтметра U_c к произведению $IR_0=U_0$ определяет добротность исследуемого контура или, вернее, добротность катушки. Предполагается, что эталонный конденсатор не имеет потерь. Для известного пост. значения вводимого в контур напряжения U_0 шкала лампового вольтметра может быть проградуирована в значениях добротности. Изменяя скачком значение тока I, а следовательно, и величину напряжения, вводимого в контур, можно расширить диапазон измерения, для чего следует на шкале индикатора тока I нанести значения множителей для измеряемой добротности. Т. к. сопротивление R_0 трудно выполнить безреактивным, этот способ измерения U_0 применяется в К.-м. с диапазоном до 50 *Мгц*. На более высоких частотах напряжение U_0 измеряется ламповым вольтметром.

Генератор имеет шкалу с градуировкой частот, а эталонный конденсатор — градуировку по емкости; поэтому К.-м. позволяет определить активное сопротивление катушки $R_к=1/2\pi fCQ$ и ее индуктивность $L_к=1/(2\pi f)^2C$. К.-м. можно также определить активное и реактивное сопротивление дросселей, фидеров, конденсаторов и др. двухполюсников. Для этого в комплект К.-м. входит эталонная катушка индуктивности известной добротности. При измерении вначале включается только эталонная катушка и при резонансе производятся отсчеты C_1 и Q_1. Затем измеряемый двухполюсник включается либо последовательно с катушкой (если он низкоомный), либо параллельно конденсатору C (если он высокоомный); после настройки в резонанс изменением частоты генератора производятся отсчеты $f_{рез}$, C_2 и Q_2. По этим данным определяются составляющие полного сопротивления двухполюсника: активная R_x и реактивная X_x. Для последоват. включения:

$$R_x=\frac{1}{2\pi f_{рез}}\left(\frac{1}{Q_2C_2}-\frac{1}{Q_1C_1}\right) \text{ и}$$

$$X_x=\frac{1}{2\pi f_{рез}}\cdot\frac{C_1-C_2}{C_1C_2}.$$

Для параллельного включения:

$$R_x=\frac{1}{2\pi f_{рез}C_1}\cdot\frac{Q_1Q_2}{Q_1-Q_2} \text{ и } C_x=C_1-C_2.$$

Угол потерь конденсатора может быть найден из соотношения:

$$\operatorname{tg}\delta=\frac{Q_1-Q_2}{Q_1Q_2}\cdot\frac{C_1}{C_1-C_2}.$$

Погрешности К.-м. определяются погрешностями измерителей напряжений U_0 и U_c, влиянием сопротивления связи, неточностью установки момента резонанса и влиянием входных сопротивлений вольтметров, шунтирующих контур. В совр. К.-м. погрешность достигает 5—10%. Пром-сть выпускает К.-м.: КВ-1 на диапазон от 50 *кгц* до 50 *Мгц* с пределами измерения добротности от 20 до 625 и К.-м. УК-1 на диапазон от 30 до 200 *Мгц* с пределами измерения добротности от 80 до 1200.

Лит.: Ремез Г. А., Курс основных радиотехнических измерений, М., 1955; Анцелиович Е. С., Радиотехнические измерения, М. — Л., 1958.

Р. В. Фельдман.

КУРКОВАЯ СХЕМА (trigger circuit; circuit déclencheur; Auslöseschaltung) — см. *Спусковая схема.*

КУСОЧНО-ЛИНЕЙНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА (piece-wise characteristic; ensemble de segments de droite; stückweise lineare Kennlinie) — хар-ка, составленная из отрезков прямых линий. В ТАР К.-л. х. используются при исследовании динамики нелинейных систем. Хар-ками такого вида обладают релейные элементы, широко применяющиеся в САР. В том случае, когда хар-ка элемента выражается нелинейной зависимостью, ее заменяют К.-л. х. путем аппроксимации нелинейной хар-ки отрезками прямых линий. К.-л. х., включающие нелинейности, наиболее часто встречающиеся в элементах автоматич. систем, выделены в число типовых нелинейных хар-к.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

Е. С. Кочетков.

КУСОЧНО-НЕПРЕРЫВНАЯ ФУНКЦИЯ (locally-continuous function; fonction continue à pièces; stückweise unstetige Funktion) — ф-ция, непрерывная во всех точках нек-рого интервала, за исключением конечного числа отдельных его точек, в к-рых она имеет разрывы 1-го рода. Точка x_0 наз. точкой разрыва 1-го рода, если в этой точке существуют конечные пределы ф-ции слева и справа

$$\lim_{x\to x_0-0} f(x_0)=f_-(x_0), \qquad \lim_{x\to x_0+0} f(x)=f_+(x_0),$$

но нарушается хотя бы одно из равенств

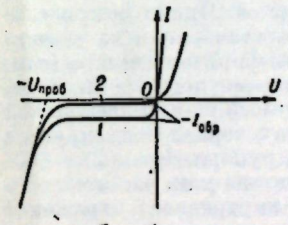
$$f_-(x_0)=f_+(x_0)=f(x_0).$$

Область определения К.-н. ф. всегда можно разбить на конечное число кусков, на каждом из к-рых ф-ция непрерывна. *Л. С. Чураев.*

Л

ЛАВИННЫЙ ПРОБОЙ в полупроводниках (avalanche break down; claquage d'avalanche; Lawinen-Durchschlag, lawinenartig anwachsende Gleichstrom-Leitfähigkeit, Avalanche-Verhalten) — состояние ПП в сильном электрич. поле, при к-ром в результате *ионизации ударной* дифференц. электрич. сопротивление ПП на пост. токе резко падает и перестает зависеть от первонач. величины. Различают два вида Л. п.: Л.п. p—n-перехода и внутр. пробой (см. также *Зинеровский пробой*).

Наибольшее значение в ПП технике имеет Л. п. p—n-перехода. Две типичные вольтамперные хар-ки даны на рис. Кривая *1* относится к диоду с бо́льшим обратным током. Там, где хар-ки сливаются с пунктирной прямой, начинается пробивной участок. Наклон этого участка определяет $R_{\text{проб}}$ — дифференц. сопротивление пробоя (оно всегда положительно в отличие от теплового пробоя). Пробивное напряжение $U_{\text{проб}}$ есть напряжение, при к-ром начинался бы Л. п. при отсутствии обратного тока. При наличии обратного тока нет четкого начала пробивного участка; переход в режим пробоя тем более плавен, чем больше обратный ток. Физ. картина Л. п. p—n-перехода следующая. При достаточно большом обратном напряжении ток через p—n-переход не зависит от напряжения (т. н. обратный ток $I_{\text{обр}}$). Происхождение этого тока — термич. генерация электронно-дырочных пар в переходе и примыкающих к нему областях ПП толщиной порядка диффузионной длины. При дальнейшем увеличении обратного напряжения электрич. поле в p—n-переходе возрастает настолько, что становится заметной ударная ионизация: носители сами создают новые пары на своем пути в области наиболее сильного поля в окрестности перехода (слое умножения). Ток при этом возрастает. Среднее число пар, порождаемых одним носителем при прохождении через слой умножения, равно $\int \frac{\alpha_д-\alpha_{эл}}{\ln(\alpha_д/\alpha_{эл})}dx$, где $\alpha_д$ и $\alpha_{эл}$ — плотности ионизации дырок и электронов; интеграл берется по их пути через слой умножения. Т. к. каждый из вновь



рожденных носителей сам порождает новые пары, то ток через диод увеличивается в

$$M=\frac{I}{I_{\text{обр}}}=\frac{1}{1-\int\frac{\alpha_д-\alpha_{эл}}{\ln(\alpha_д/\alpha_{эл})}dx}$$

раз. Условием пробоя будет $M=\infty$, или $\int\frac{\alpha_д-\alpha_{эл}}{\ln(\alpha_д/\alpha_{эл})}dx=1$. На пробивном участке хар-ки величина этого интеграла практически остается равной единице при любом токе, следовательно, поля в слое умножения не увеличиваются с ростом напряжения. Рост последнего полностью определяется пространств. зарядами электронов и дырок. Отсюда следует независимость дифференц. сопротивления пробоя и пробивного напряжения от обратного тока. Л. п. p—n-перехода весьма распространен в ПП приборах. По большей части он вреден, т. к. ограничивает обратные напряжения, к-рые способны выдерживать переходы, но иногда используется как полезное явление (напр., в опорных диодах). Следует отметить, что Л. п., в отличие от теплового, не приводит к порче прибора или к.-л. необратимым изменениям в нем, ибо процесс ударной ионизации связан лишь с нагревом электронно-дырочного газа, а решетка остается холодной.

Внутренний пробой отличается от Л. п. p—n-перехода тем, что он происходит в однородном и достаточно протяженном куске материала, так что умножение развивается не в узком слое, а во всем объеме ПП. При Л. п. p—n-перехода число генерируемых в слое умножения носителей почти в точности равно числу носителей, покидающих слой, а рекомбинация в слое пренебрежимо мала. При внутр. пробое, наоборот, генерация уравновешивается, в основном, рекомбинацией, а выход носителей за пределы области умножения вследствие ее большой протяженности пренебрежимо мал. Характерной особенностью внутр. пробоя является зависимость тока лишь от поля, а не от длины образца. Т. к. при внутр. пробое достигается равновесие между лавинной ионизацией и рекомбинацией, то электронно-дырочный газ можно рассматривать как термически равновесный с общим уровнем Ферми для электронов и дырок. Зависимость темп-ры этого газа от поля такова, что она бесконечно растет при $E\to E_{\text{кр}}$, где $E_{\text{кр}}$ — «критическая» напряженность электрич. поля. Очевидно пробой и наступает при $E\approx E_{\text{кр}}$. В отличие

от пробоя p—n-перехода, дифференц. сопротивление при внутр. пробое равно нулю, т. к. пространственные заряды не возникают.

Лит.: Чуенков В. А., Теория электрического пробоя полупроводников, в кн.: Физика твердого тела. Сб. ст. 2, М.— Л., 1959, с. 200—14; Вул Б. М., О пробое переходных слоев в полупроводниках, «Журнал техн. физ.», 1956, т. 26, вып. 11, с. 2403.

А. Л. Захаров.

ЛАЗЕР (laser; laser; Laser) — квантовый генератор (усилитель) когерентного излучения оптич. диапазона. Термин «laser» образован первыми буквами англ. назв. light amplification by stimulated emission of radiation — «усиление света с помощью индуцированного излучения». В зависимости от рода активного материала различают Л. на основе твердого тела, газовые и жидкостные Л. Из Л. первого типа наиболее изучен рубиновый. В одной из ранних моделей такого Л. для получения индуцированного излучения (см. *Квантовая система*) используются энергетич. переходы трехвалентного иона хрома Cr^{3+} в монокристалле рубина (Cr_2O_3: Al_2O_3). Под действием излучения подкачки (с длиной волны порядка 5600 Å) ион Cr^{3+} переходит с уровня 1 на уровень 3, с к-рого возможны переходы вниз на уровни 2 и 1 (рис. 1, *а*). Если переходы на метастабильный уровень 2 преобладают и если подкачка обеспечивает пост. инверсию населенностей уровней 1 и 2, то населенность уровня 2 станет больше населенности уровня 1. При спонтанном переходе одного из ионов Cr^{3+} с уровня 2 на уровень 1 излучается фотон частоты f_{12},

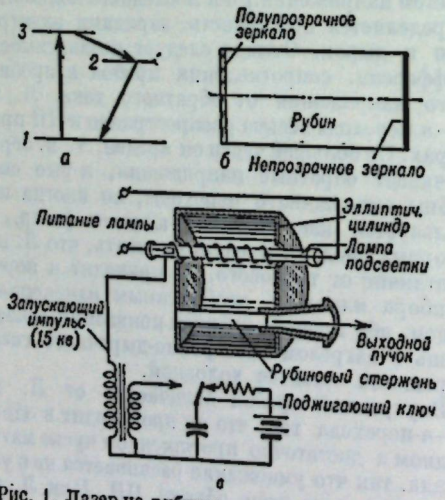


Рис. 1. Лазер на рубине: *а* — схема уровней Cr^{3+}; *б* — рубиновый стержень; *в* — схема генератора.

к-рый начинает распространяться по кристаллу рубина; встречаясь с др. возбужденными ионами Cr^{3+}, этот фотон вызывает уже индуцированное излучение, когерентное с первичным фотоном. За счет многократного отражения от шлифованных и посеребренных торцов монокристалла рубина интенсивность излучения в кристалле непрерывно увеличивается. Это происходит только с теми фотонами, направление распространения к-рых составляет небольшой угол с осью кристалла; остальное же излучение покидает кристалл через боковую поверхность и не принимает участия в формировании пучка излучения. Пучок излучения выходит через один из торцов, являющийся полупрозрачным зеркалом (рис. 1, *б*). Для подкачки применяют газоразрядную лампу, помещаемую в одном из фокусов эллиптич. рефлектора (рис. 1, *в*); в др. фокусе располагается рубиновый стержень. Л. работает в импульсном режиме, т. к. мощность подкачки, необходимая для работы в непрерывном режиме, слишком велика (в дальнейшем были осуществлены и непрерывно работающие Л. на основе рубина). Генерируемое излучение лежит в самом начале инфракрасной области (6943 Å). Мощность в импульсе достигает 10 *квт*.

На основе твердого тела создан Л. непрерывного действия с такой же системой подкачки. Активным материалом в нем служит стержень из вольфрамата кальция с присадкой трехвалентного неодима ($CaWO_4$:Nd^{3+}). Такие кристаллы характеризуются сильной флюоресценцией и для их возбуждения требуется лампа подкачки с мощностью всего лишь в 900 *вт*. Излучаемый свет имеет длину волны 10650 Å; выходная мощность порядка *мвт*.

Большие преимущества имеет способ подкачки, при к-ром вспомогат. излучение вво-

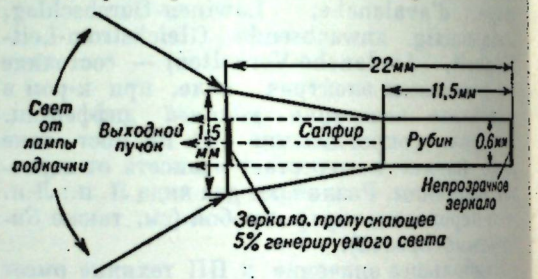


Рис. 2. Схема подсветки через торец.

дится не через боковую поверхность кристалла, а через один из торцов. При этом кристаллу придается форма, составленная из усеченного конуса (чистый сапфир) и цилиндра (сапфир с примесью трехвалентного хрома, т. е. рубин). Свет, генерируемый ртутно-ксеноновой лампой, системой сферич. зеркал фокусируется на торце сапфирового рупора (рис. 2). Геометрия системы рассчитана так, что этот свет испытывает полное внутреннее отражение внутри монокристалла, отражается от торцового непрозрачного зеркала и т. о. проходит через объем кристалла дважды. Благодаря этому свет подкачки используется значительно эффективнее и лампа подкачки может работать в непрерывном режиме (при расходе мощности на лампе в 930 *вт* генерируется непрерывное излучение мощностью 4 *мвт*). В принципе такая система позволяет пользоваться солнечной энергией для подкачки Л. на основе твердого тела.

Из др. твердых активных материалов представляет интерес бариевый кронглас с присадкой трехвалентного неодима; из этого стекла были изготовлены нити длиной свыше 7 *см* и диаметром 0,3 *мм*. Длина волны излучения находится вблизи 10600 Å. Благодаря легкости обработки стекла этот материал очень перспективен, в частности при использовании по методам волоконной оптики. В полупроводниковых материалах для получения индуцированного излучения используется рекомбинация электронов и дырок через запрещенную зону. Инверсия населенности создается здесь за счет инжекции носителей тока через p—n-переход. Дно зоны проводимости и потолок валентной зоны в области p—n-перехода искривляются, и рекомбинация происходит здесь за счет туннельного эффекта через запрещенную зону. Эффективность такой рекомбинации (с точки зрения генерации света) чрезвычайно велика; так, в арсениде галлия при плотностях тока через p—n-переход порядка 10^4 *а/см²* на один электрон, проходящий через p—n-переход, может приходиться от 0,5 до 1 кванта генерируемого излучения (при 77°К оно имеет максимум возле 0,84 *мк*).

В газовых Л. активным материалом является смесь двух газов (гелия и неона) при парциальных давлениях 1 и 0,1 *мм рт. ст.* соответственно. Смесь помещается в цилиндрич. объем, ограниченный с двух сторон плоскими строго паралл. зеркалами, одно из к-рых полупрозрачно (рис. 3). В этом объеме внеш-

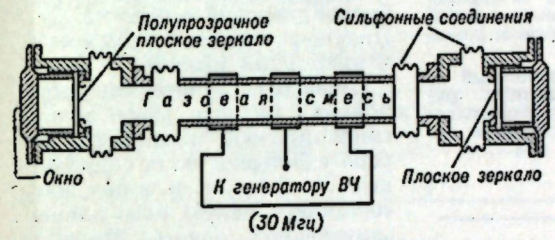


Рис. 3. Газовый лазер.

ним генератором создается высокочастотный разряд (30 *Мгц*), вследствие чего атомы гелия переходят в возбужденное состояние и, соударяясь с атомами неона, увеличивают энергию последних; в результате создается инверсия населенностей уровней атомов неона. Благодаря тонкой структуре уровней возможно 30 различных переходов, но в Л. используются только 5 из них; длина волны наиболее сильной линии 11530 Å. В остальном формирование пучка происходит так же, как и в Л. на основе твердого тела. Такой Л. имеет входную мощность 50—80 *вт*, выходную — 15 *мвт*. В газовых Л. могут быть использованы и др. смеси, напр. паров ртути и криптона. В газовых Л. гораздо легче осуществить непрерывность работы, причем для этого не требуется охлаждения; монохроматичность их значительно лучше ($\Delta f \sim 10$—80 *кгц*). В твердых материалах сильно сказывается влияние дефектов структуры монокристаллов, а также перегрев во время работы (срыв генерации); значительно улучшается работа таких Л. при охлаждении до низких температур; выходная мощность у них выше, чем у газовых Л. Основные трудности связаны с получением чистых материалов заданного состава. В принципе можно осуществить Л. на основе жидкостей (в частности, органических).

Благодаря чрезвычайно большой интенсивности лазерного излучения напряженность электрич. поля лазерного пучка оказывается достаточной для того, чтобы в различных пьезокристаллах (к-рые должны обладать определ. симметрией) возбудить (направляя на них лазерный луч) излучение на частоте первой гармоники (т. е. удвоенной частоте). Так, из красного рубинового луча с длиной волны 6934 Å можно получить ультрафиолетовый луч (3467 Å). С помощью тех же кристаллов осуществляется и смешение двух лучей, направляемых на кристалл (т. е. получается излучение с суммарной частотой). Область применения Л. определяется тем, что они являются мощными источниками направленного, монохроматич. и когерентного излучения. Направленность излучения Л. чрезвычайно велика (угол расхождения пучка θ в твердых лазерах $\sim 0{,}5°$, в газовых $< 1'$); расхождение пучка в принципе определяется только дифракционными условиями ($\theta = \lambda/d$, где λ — длина волны излучения, d — диаметр лазерного стержня или трубки). Концентрируя излучение Л. внешними линзовыми системами, можно создать значит. местный нагрев (прожигать небольшие отверстия в металле и др. материалах). В фотографии с помощью мощного (короткие экспозиции) и монохроматич. (устраняется хроматич. аберрация) излучения Л. можно получить гораздо более эффективные изображения, чем в обычных условиях. С изобретением Л. появилась реальная возможность передачи информации по *каналу связи оптическому*. Излучение Л. используется в видимой и инфракрасной спектроскопии, для управления химич. реакциями, в хирургии и др.; ведутся исследования по разработке систем слежения за космическими объектами.

Лит.: Шавлов А., Фогель С., Далберджер Л., Оптические квантовые генераторы (Лазеры), пер. с англ., М., 1962; «Electronics», 1962, v. 35, № 7, p. 38; № 11, p. 40; «Applied Optics», 1962, v. 1, № 2.

М. М. Горшков.

ЛАМПА БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ (running-wave electron tube; tube électronique à onde continue; Wanderfeldröhre) — электровакуумный прибор для усиления (основное назначение), умножения частоты и модуляции СВЧ электромагнитных колебаний. От др. приборов отличается длительным взаимодействием электронного потока (ЭП) с электромагнитной волной. Помимо Л. б. в., к этому классу относятся: *лампы обратной волны*, *магнетроны* и *платинотроны*.

Л. б. в. характеризуются большой шириной рабочей полосы частот в области очень коротких волн (вплоть до миллиметровых), малым уровнем шума, значит. усилением и др. Л. б. в. позволяют осуществить линии дальней связи, рассчитанные на передачу большого количества информации, по объему соответствующей, напр., передаче одновременно от десятков до сотни телевиз. программ. Они получат широкое применение в телемеханике и автоматике для управления сложными удаленными объектами. Общепринятой классификации Л. б. в. пока не существует. Наибольшее применение получили усилит. Л. б. в., условно разделенные на четыре группы (табл. 1).

Простейшая конструкция (схема) Л. б. в. дана на рис. 1. Электронная пушка служит для формирования ЭП и введения его с требуемой скоростью в область электромагнитного поля замедленной волны (наз. пространством взаимодействия), распространяющейся по замедляющей системе (ЗС) от входа к выходу.

Входной и выходной волноводы с согласующими тр-рами служат для передачи с миним. потерями сигналов СВЧ. Поглощающая вставка волн — набегающей со стороны входа и отраженной от выхода — служит для повышения стабильности лампы. Коллектор улавливает электроны, прошедшие через ЗС. Важнейшая часть Л. б. в. — ЗС — часто выполняется из металлич. проволоки в виде спиральной линии. В простейшей теории вместо проволочной спирали рассматривается сплошная цилиндрич. поверхность, обладающая прово-

Табл. 1.— Типы ламп бегущей волны

Тип	Диапазон длин волн	Основные параметры	Применение
Малошумящие	Дециметровый, сантиметровый	Коэфф. шума 3–15 *дб*, усиление 15–25 *дб*, ширина полосы рабочих частот – до октавы	Входной усилитель в приемниках
Малой мощности	Дециметровый, сантиметровый, миллиметровый	Коэфф. шума 20–30 *дб*, усиление 30–60 *дб*, ширина полосы рабочих частот – до октавы, мощность на выходе – единицы и десятки *мвт*	Широкополосный усилитель
Средней мощности	Дециметровый, сантиметровый, миллиметровый	Коэфф. шума 25–30 *дб*, усиление 15–30 *дб*, ширина полосы рабочих частот от 20% до октавы, мощность на выходе от единиц до сотен *вт*, кпд 3–20%	Широкополосный усилитель (напр., оконечный усилитель мощности); работа в непрерывном и в импульсном режимах
Большой мощности	Дециметровый и сантиметровый	Усиление 10–30 *дб*, ширина полосы рабочих частот от 10% до 40%, мощность на выходе от сотен *квт* до единиц и десятков *Мвт*, кпд до 30–35%	Оконечный усилитель; работа в импульсном режиме

димостью только в направлении витков спирали. Основные параметры ЗС — радиус анизотропно проводящей поверхности r_1 и шаг h. Существ. роль играет также радиус внешнего экрана r_2, охватывающего ЗС. Теория показывает, что вдоль экранированной спиральной ЗС, помимо замедленной волны с полями,

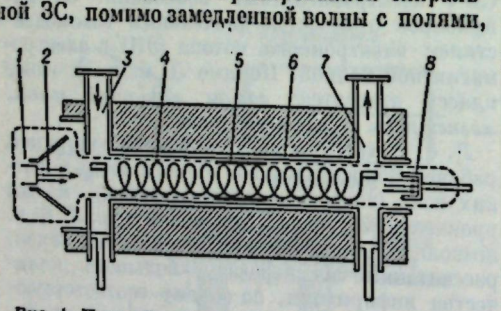


Рис. 1. Простейшая схема устройства лампы бегущей волны: *1* — электронная пушка; *2* — электронный поток; *3* — входной волновод с согласующим тр-ром; *4* — замедляющая система; *5* — пространство взаимодействия; *6* — внешний экран и каркас соленоида; *7* — выходной волновод с согласующим тр-ром; *8* — коллектор. Пунктиром показан стеклянный баллон лампы, а штриховкой — катушки фокусирующего соленоида.

не зависящими от азимутального угла, т. е. обладающими осевой симметрией, могут распространяться волны др. типов, нарушающие нормальное действие лампы. Если не учитывать диэлектрика вблизи ЗС (стекло, кварц, керамика), то условия существования одной лишь симметричной замедленной волны имеют вид:

$$r_1 < \frac{\lambda}{4\pi}, \quad r_2 < \frac{\lambda}{\pi} - r_1,$$

где λ — длина волны в свободном пространстве. Наличие диэлектрика требует дополнит. уменьшения радиусов r_1 и r_2. Достоинства спиральной ЗС: слабая зависимость в широкой области частот фазовой скорости волны от частоты и высокая эффективность взаимодействия ЭП с полем волны, что позволяет создать Л. б. в., усиливающие в очень широкой полосе частот — порядка октавы — при значит. кпд. Недостатки: малый размер сечения пространства взаимодействия и трудность теплоотвода, что затрудняет получение больших мощностей на коротких волнах, где размеры спирали и диаметр провода по необходимости малы. Выходом является применение спиралей, выполненных из трубки. Описаны Л. б. в. на волну 3 *см* с ЗС, изготовленной из капиллярной трубки с внешним диаметром ок. 0,5 *мм* и диаметром внутр. канала ок. 0,3 *мм*, по к-рому циркулирует под давлением охлаждающая жидкость. Требуемое давление — десятки *ат*. Получена мощность до 3 *квт* в непрерывном режиме.

Периодич. характер спиральной ЗС (период равен шагу спирали) слабо сказывается на работе больших части спиральных Л. б. в., т. к. в них шаг составляет малую долю длины замедленной волны. Наряду с этим применяются ЗС (типа фильтров), периодич. характер структуры к-рых существенно влияет на св-ва ламп. Такие ЗС, выполненные из массивных кусков металла и охлаждаемые жидкостью, обладают хорошим теплоотводом, что позволяет получать большую мощность. Однако Л. б. в. с этими ЗС сильно уступают спиральным в отношении ширины полосы и, кроме того, в них сильно выражены обратные пространств. гармоники (см. *Лампа обратной волны*), способствующие самовозбуждению лампы.

Для оценки эффективности взаимодействия ЭП с полем ЗС при малой плотности тока может служить параметр усиления

$$C = \sqrt[3]{\frac{|\overline{E}|^2 S}{8\beta^2 P U_0} i_0},$$

где $|\overline{E}|^2$ — среднее по сечению ЭП значение квадрата амплитуды пространственной гармоники, взаимодействующей с ним; U_0 — напряжение на ЗС; β — фазовая постоянная рабочей гармоники; S — площадь сечения пространства взаимодействия; P — средний по времени поток мощности в ЗС; i_0 — плотность пост. составляющей тока в ЭП. Сравнение различных ЗС следует производить при одинаковых значениях i_0. Не менее важный элемент Л.б.в.— электронная пушка. Для малошумящих ламп разработаны пушки, отличающиеся особым катодом, а также спец. законом распределения потенциала, в к-рых снижен уровень шума в ЭП. Коэфф. усиления и кпд Л. б. в. растут с ростом плотности тока i_0 в ЭП. Однако плотность тока катода ограничена его эмиссионной способностью. В связи с этим применяются методы компрессии, позволяющие снять ЭП с катода, обладающего большой площадью, и превратить его в поток с малым поперечным сечением пространства взаимодействия. Наиболее распространены электронные пушки Пирса с компрессией в цилиндрич. ЭП в 30—40 раз и с системами фокусирования, использующими однородное магнитное поле соленоида. Недостатки соленоидов — большой вес и необходимость затраты мощности на питание. В нек-рых случаях соленоиды заменяются пост. магнитами, однако вес последних также велик. Относительно малый вес имеет периодич. магнитная фокусирующая система, состоящая из тонких дискообразных магнитов, намагниченных вдоль оси и сложенных так, что магнитные поля соседних колец направлены навстречу. Еще более легкими получаются Л. б. в. с электростатич. системами фокусирования. Применяется также периодич. электростатич. система фокусирования, при которой ЭП проходит сквозь последовательность кольцевых электродов, из к-рых все четные имеют один, а нечетные — другой потенциал, в результате чего образуется периодич. электростатич. поле вдоль ЭП. Периодич. магнитная фокусировка применяется широко, а электростатическая — в меньшей степени. Только в приборах с очень малым коэфф. шума, а также с ЭП с плотностью тока 2—15 *а/см²* осуществляют фокусирование с помощью соленоидов.

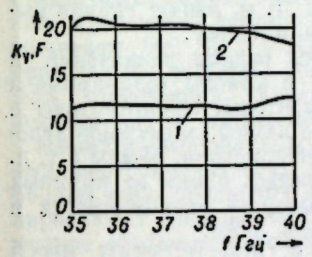


Рис. 2. Хар-ки малошумящей лампы бегущей волны 8-мм диапазона (США): кривая *1* — коэфф. шума F (*дб*); кривая *2* — коэфф. усиления K_y (*дб*).

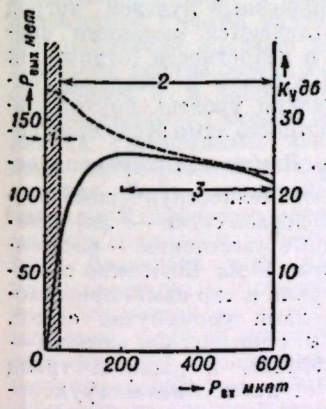


Рис. 3. Зависимость коэфф. усиления и мощности на выходе лампы УВ-6 от мощности сигнала на входе для λ=8,8 *мм*: пунктирная линия — коэфф. усиления K_y; сплошная линия — мощность на выходе $P_{вых}$; *1* — линейная область работы лампы бегущей волны (режим малого сигнала); *2* — нелинейная область работы (режим большого сигнала); *3* — режим насыщения.

Таблица 2

Наименование	Тип	Диапазон частот (*Гц*)	Коэфф. усиления малого сигнала (*дб*)	Мощность насыщения (*вт*)	Коэфф. шума (*дб*)	Система фокусирования
M2103	Малошумящая	2—4	30	10^{-2}	8 15	Соленоид Периодич. магнитная
M2114	Малошумящая	12,4—18	30	$5 \cdot 10^{-3}$	12 14	Соленоид Периодич. магнитная
WI-211	Особо малошумящая	2—4	—	—	4,3	Соленоид
TW-4261	Маломощная	2—4	35	10^{-2}	—	Периодич. магнитная
TW-4260	Средней мощности	2—4	30	1	—	Периодич. магнитная
EM-1015	Средней мощности	4—8	60	3	—	—
VA-126	Большой мощности	5,4—5,9	35	$3 \cdot 10^6$ в импульсе	—	Скважность 600; кпд 30%

Как пример, в табл. 2 приведены основные параметры нек-рых Л. б. в. (США). На рис. 2 и 3 приведены их типичные частотные и амплитудные хар-ки.

Лит.: Пирс Дж. Р., Лампа с бегущей волной, пер. с англ., под ред. В. Т. Овчарова, М., 1952; Трошанов Н. А., Радиоаппаратура на лампах бегущей волны, Л., 1961; Рыбалов А. Г., Лампы с бегущей обратной волной, М., 1959; Зинькевский А. И., Лампы бегущей и обратной волны, М.— Л., 1959.

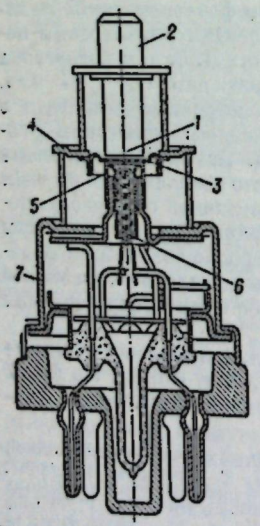
Л. И. Лисовский.

ЛАМПА МАЯЧКОВАЯ (lighthouse tube; tube phare; Leuchtturmröhre, Metall-Keramik-Senderöhre kleiner und mittlerer Leistung) — триод (диод) для генерирования, усиления, детектирования и смешения СВЧ колебаний, по внешнему виду напоминающий миниатюрный маяк. Выводы электродов Л. м., выполненные в виде дисков и цилиндров, обладают очень малыми индуктивностями и удобно сочетаются с колебат. контурами СВЧ. Л. м. подразделяются на стеклянные и титано-керамические. Стеклянный триод (рис.) имеет плоские электроды (анод, сетку и катод), что позволяет установить малые междуэлектродные

расстояния (сетка — катод 0,1—0,14 *мм*, сетка — анод 0,25—0,3 *мм*) и уменьшить время пролета электронов в лампе, сохранив сравнительно невысокие анодные напряжения (100—250 *в*). Сеточное полотно Л. м. состоит из проволочных ячеек размером 0,025 *мм* и приваривается к диску с отверстием посредине. Анод Л. м. имеет вид цилиндра и спаян с выводом — диском.

Между корпусом и дисками сетки и анода впаиваются стеклянные трубки, образующие баллон лампы. Диск анода и диск сетки выступают за стенки баллона в виде кольцеобразных контактных выводов этих электродов. Нижняя часть стеклянной Л. м. — металлич. цилиндрич. корпус со стеклянным дном, сквозь к-рое к октальному цоколю проходят выводы от катода, подогревателя и корпуса. В непрерывном режиме Л. м. отдают мощность 30—150 *мвт*; в импульсном — до неск. единиц и десятков *вт* при соответствующем повышении импульсного анодного напряжения. Экспериментальные исследования показывают, что стеклянные Л. м. могут работать в режиме генерирования на частотах до 5700 *Мгц*. Более совершенные титанокерамич. триоды маячкового типа имеют расстояние сетка — катод 0,02—0,04 *мм*, сетка — анод 0,25—0,27 *мм*; в них также используется плоско-параллельная система электродов с цилиндрич. и дисковыми выводами.

В Л. м. применяется торцевой оксидный катод с гладким и плотным покрытием толщиной ~ 13 *мк*. Один конец подогревателя присоединен к катоду и имеет с ним общий вывод. Сетка навивается золоченой вольфрамовой проволокой диаметром 7—12 *мк* с шагом 20—60 *мк*. Газопоглотителем служат титановые диафрагмы и титановые цилиндры, размещаемые в непосредств. близости от катода. Благодаря этому темп-ра титановых деталей достигает 700—750°, а титан интенсивно поглощает остаточный газ. Применение титанового газопоглотителя позволяет исключить посторонние частицы, неизбежные в случае применения др. геттеров. Баллон изготовляется из форстеритовой керамики марки ЛФ-11, у к-рой в широком диапазоне темп-р (200—800°) коэфф. расширения такой же, как и у титана. Эта керамика обладает малыми потерями на СВЧ. Конусообразная форма анодноосеточного керамического изолятора обеспечивает высокую механическую прочность и миним. емкость анод — сетка (за счет уменьшения емкости рассеяния). Компактная конструкция и жесткое крепление всех деталей придают лампе высокую механическую прочность.



Разрез маячковой лампы: *1* — анод; *2* — вывод анода; *3* — сетка; *4* — вывод сетки; *5* — оксидный катод; *6* — подогреватель; *7* — ВЧ вывод катода.

Диоды маячкового типа предназначены для детектирования и смешения колебаний СВЧ. Основным параметром смесит. диода является крутизна преобразования, для увеличения к-рой уменьшают расстояние между анодом и катодом. При этом, чтобы избежать увеличения емкости анод — катод, сокращают рабочие поверхности электродов. Выводы электродов, как и у триодов, имеют вид дисков и цилиндров.

Лит.: Девятков Н. Д., Данильцев Е. И., Хохлов В. К., Трехэлектродные лампы для генерирования электромагнитных волн дециметрового диапазона, «Изв. электропромышленности слабого тока», 1940, № 2; Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960. *В. М. Петухов.*

ЛАМПА МИНИАТЮРНАЯ (пальчиковая) (miniature tube; lampe naine; Miniaturröhre) — приемно-усилит. лампа в миниатюрном оформлении: диаметр стеклянного баллона 19—22,5 *мм*, полная высота лампы от концов штырьков до конца отпая штенгеля не превышает 80 *мм*. Баллоны, как правило, изготовляются из стекла. Наиболее употребительно стекло 3С-4 (свинцовое), реже используются тугоплавкие (молибденовые и др.) стекла. Л. м. имеют плоские ножки с семью или девятью штырьковыми выводами, рассчитанными на использование ламповых панелей. Нек-рые типы Л. м. имеют гибкие выводы для впаивания в схему.

Л. м. выпускаются разных назначений и конструкций: диоды и триоды (одинарные и двойные), тетроды, пентоды, триод-гептоды и др. комбинированные лампы, электронолучевые индикаторы, электрометрич. лампы и т. д. Разработка Л. м. явилась одним из крупных шагов на пути повышения экономичности и уменьшения габаритов ламп.

Первые типы Л. м. (6Ж1П, 6К4П, 6Н1П и др.) имели параметры, аналогичные параметрам обычных стеклянных и металлич. радиоламп.. Позднее были созданы Л. м. для широкополосного усиления — триоды 6С3П, 6С4П, 6С15П; пентоды 6Ж9П, 6Ж10П, 6Ж11П, 6Ж23П; оконечный лучевой тетрод 6Э5П. Эти Л. м. отличаются высокими значениями крутизны и добротности (отношения крутизны к сумме входной и выходной емкостей) и имеют низкий уровень внутриламповых шумов. Добротность ламп этой серии составляет 1,5—2 $\frac{ма}{в \cdot пф}$. Лампы для широкополосного усиления имеют мелкоструктурные сетки (диаметр навивки первой сетки—8 *мк*) и малые междуэлектродные расстояния — расстояние сетка—катод около 40 *мк*. Возможно создание ламп с параметрами и хар-ками, превосходящими параметры ламп упомянутой серии.

Выпускаются Л. м. с катодными сетками — пентоды 6Ж21П, 6Ж22П и двойной триод 6Н19П. В отличие от ламп с мелкоструктурными сетками, эти лампы при больших междуэлектродных расстояниях имеют почти такие же электрич. параметры. Добротность ламп с катодными сетками достигает 2,5 $\frac{ма}{в \cdot пф}$, т. к. входные емкости этих ламп малы (катодная сетка, расположенная между катодом и управляющей сеткой, является электростатич. экраном, наличие к-рого уменьшает входную емкость). Лампы с катодными сетками широко применяются для формирования коротких импульсов (длительностью порядка единиц *нсек*) в ЭВМ.

В миниатюрном оформлении выпускаются электронно-оптич. индикаторы различных модификаций, лампы со вторичной эмиссией, напр. 6В1П, имеющая крутизну около 30 *ма/в*. Лампы со вторичной эмиссией используются в усилит. схемах (причем усиленный сигнал в цепи динода совпадает по фазе с сигналом в цепи управляющей сетки) и в схемах формирования коротких импульсов.

Л. м. 6А3П — лампа с двойным сеточным управлением, сфокусированным электронным потоком, представляет собой как бы последовательное включение двух триодов с общим электронным потоком. Небольшое отрицат. напряжение на любой из управляющих сеток полностью запирает лампу, а положительное — открывает. Лампа предназначена для использования в ограничителях и дискриминаторах телевиз. приемников, схемах совпадений и антисовпадений. Л. м. 6Л1П имеет гистерезисную хар-ку и используется в ограничителях, дискриминаторах и быстродействующих пересчетных схемах. Применение плоских ножек существенно уменьшает междуэлектродные емкости и индуктивности выводов электродов. При этом повышаются входные и выходные сопротивления ламп, а следовательно, предельные частоты усиления и генерирования. Предельные частоты генерирования Л. м. достигают 900 *Мгц* (6Н15П, 6С2П и др.), предельные частоты усиления — 300 *Мгц*. Для повышения входных сопротивлений нек-рые Л. м. имеют неск. выводов катода.

Миниатюрные баллоны имеются у маломощных кенотронов 6Ц4П-Е, 3Ц18П, 6Ц19П, демпферных высоковольтных диодов 6Ц10П, регулировочных триодов 6С19П и др. ламп. Миниатюрное оформление позволяет конструировать усилит. генераторные и модуляторные лампы с мощностью рассеивания на анодах до 10—15 *вт*. Дальнейшее повышение рассеиваемых мощностей требует использования тугоплавких стекол для изготовления баллонов или увеличения габаритов ламп. Габариты Л. м. в известной степени являются оптимальными для получения большой долговечности и надежности работы ламп. Размеры баллонов и электродов Л. м. таковы, что удельные тепловые нагрузки на стекло и электроды оказываются сравнительно невысокими, что снижает интенсивность газоотделения стекла и металла. Л. м. характеризуются повышенной величиной отношения поверхностей или объема всех деталей к активной поверхности катода, благодаря чему удельное количество выделяющихся в процессе эксплуатации и воздействующих на катод газов оказывается меньшим, чем в др. конструкциях ламп. Большие размеры слюды позволяют жестко крепить электроды ламп, широко используя при этом различные крепежные детали; поэтому Л. м., как правило, обладают хорошей устойчивостью к воздействию мех. нагрузок.

Почти все типы Л. м. имеют лампы — аналоги, отличающиеся повышенной надежностью и долговечностью. Срок службы долговечных ламп 5—10 тыс. час. при 85—95% годности. Как и лампы повышенной надежности, они сохраняют работоспособность в условиях воздействия вибрации с ускорением 6—10 *g*, многократных и одиночных ударов с ускорением до 500 *g*, повышенных до 100—150° темп-р окружающей среды. Л. м., предназначенные для работы при повышенной до 300° темп-ре окружающей среды, имеют баллоны из тугоплавкого стекла.

Перспективы развития Л. м. состоят в дальнейшем повышении их экономичности, надежности и долговечности. В миниатюрном оформлении разрабатываются новые типы приемно-усилит. ламп со спец. хар-ками, лампы для генераторов срочной развертки цветных и черно-белых телевиз. приемников, комбинированные и др. лампы.

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960. *Н. В. Пароль.*

ЛАМПА НЕОНОВАЯ ИНДИКАТОРНАЯ (indicating neon tube; tube indicateur à néon; Neon-Anzeigeröhre) — газоразрядный прибор (источник света) тлеющего самостоят. разряда с отрицат. свечением. В зависимости от конструктивных особенностей и назначения разделяются на сигнальные и индикаторные, используемые в качестве индикаторов напряжения и тока (сигнальные СН-1, СН-2, панельные ПН-1, фазовые ФН-2, волномерные ВМН-1, миниатюрные индикаторные МН-3, МН-6, цифровые индикаторные ИН-1, ИН-2), а также на специальные (точечные модуляторные ТМН-2, индикаторы высокого напряжения УВН-1, для вольтоскопов ВН-1, ВН-2 и др.). Благодаря малой потребляемой мощности (0,01—10 *вт*), достаточно хорошей световой индикации (световой поток 0,02—5,0 *лм*, яркость 0,01—1,0 *сб*, световая отдача 0,2—1,0 *лм/вт*), большой долговечности Л. н. и. широко применяются в системах сигнализации, связи, в фототелеграфии, автоматике, вычислит. технике, в контрольно-измерит. аппаратуре. Наличие порогового напряжения зажигания, способность инвертировать и формировать сигнал позволяют использовать неоновые лампы в логич. схемах («и», «или», «не», запрет) и накопит. устройствах в качестве простейших релаксац. генераторов, импульсных усилителей-формирователей, триггеров и т. д. Однако широкое применение Л. н. и. в указанных устройствах ограничивается сравнительно большими разбросами и нестабильностью электрич. параметров.

Конструктивно Л. н. и. (рис. 1) представляет собой стекл. баллон, в к-ром на небольшом расстоянии друг от друга размещены два электрода из стали, никеля, молибдена, алюминия или чистого железа, покрытого натрием, калием, барием. Размеры и форма электродов (диски, кольца, стержни, полусферы и др.) зависят от мощности и назначения лампы. Наполняющий газ — неон или его смесь с гелием, дающие оранжево-красное свечение.

Л. н. и. работают как на постоянном, так и на перем. токе. При пост. токе свечение происходит у одного электрода (катода), при переменном — у обоих электродов. Характерные особенности Л. н. и. — катодное свечение (свечение тонкого слоя газа, прилегающего к катоду) и зависимость светящейся площади катода от величины тока. Чтобы свечение было более интенсивным, рабочий режим выбирается в области аномального тлеющего разряда (вся поверхность катода покрыта свечением).

Осн. параметры Л. н. и.: напряжение зажигания (50—550 *в*), рабочий ток или ток индикации (0,2—40 *ма*), падение напряжения, время запаздывания зажигания и время деионизации. Потенциал зажигания Л. н. и. зависит от свойств наполняющего газа, его

давления, формы электродов и расстояния между ними. Снижение напряжения зажигания достигается покрытием электродов щелочными и щелочно-земельными элементами (Na, K, Ba, Cs). Величина падения напряжения на лампе зависит от рода и состава газа, свойств поверхности катода, межэлектродного расстояния и от плотности тока на катоде. Рабочий ток определяется плотностью тока на

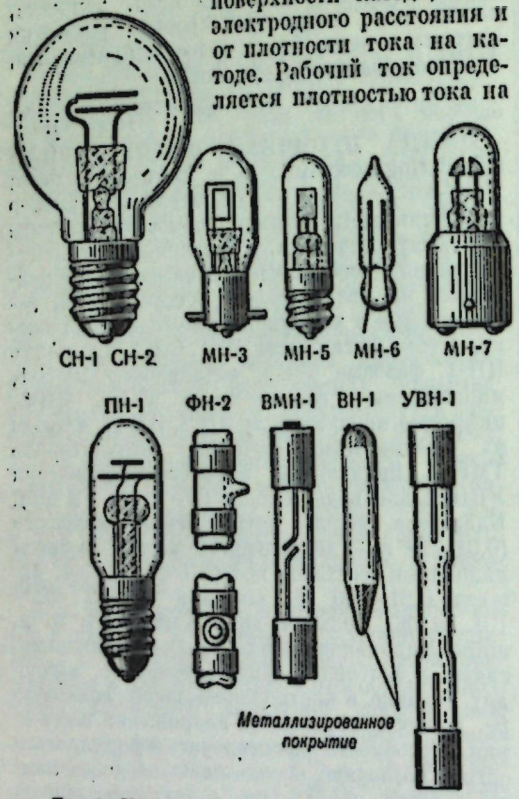


Рис. 1. Конструкция и внешний вид нек-рых типов неоновых индикаторных ламп.

катоде, геометрич. размерами электродов и расстояниями между ними. Нижний предел тока выбирается из условия достаточного свечения, верхний — долговечности.

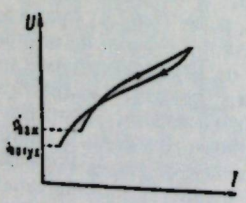


Рис. 2. Вольтамперная хар-ка неоновой лампы.

При повышении напряжения источника питания происходит нарастание тока, что может привести к переходу тлеющего разряда в дуговой, поэтому величина рабочего тока ограничивается последовательно включенным сопротивлением. У некоторых типов Л. п. и. сопротивление монтируется непосредственно в баллоне (СН-1, СН-2). Величина ограничивающего сопротивления: $R_{огр}=\frac{U_{пит}-U_{гор}}{I}$, где $U_{пит}$ — напряжение источника питания анода, $U_{гор}$ — напряжение горения (падение напряжения), I — рабочий ток. Большинство Л. п. и. обладает «гистерезисной» хар-кой (напряжение потухания меньше, чем напряжение зажигания, рис. 2).

За последнее время получили распространение *лампы цифровой индикации*.

Лит.: Иванов А. П., Электрические источники света, 2 изд., М.— Л., 1955; Перельмутер В. С., Яблонский Ф. М., Янкин Г. М., Цифровой индикатор тлеющего разряда, «Р-ка», 1960, т. 15, № 12; Эфрусси М. М., Стабилитроны и неоновые лампы, М.— Л., 1958; Кораблев Л. Н., Лампы с холодным катодом, М., 1961; Schurig E., «Funk-Technik», 1960, Jg. 15, № 6, S. 174—75.

И. А. Кондоков.

ЛАМПА ОБРАТНОЙ ВОЛНЫ (reverse-wave electron tube; tube électronique à onde inverse; Rückwärtswellenröhre) — электровакуумный прибор для генерирования колебаний СВЧ, отличающийся от *клистрона*, *магнетрона* и др. генераторов широкой полосой электронной перестройки частоты. Л. о. в. применяются в измерит. аппаратуре с автоматич. перестройкой частоты, в качестве гетеродина супергетеродинных приемников и др. Преобразование кинетич. энергии электронного потока в энергию электромагнитных волн в Л. о. в. происходит вследствие длительного взаимодействия электронов с СВЧ

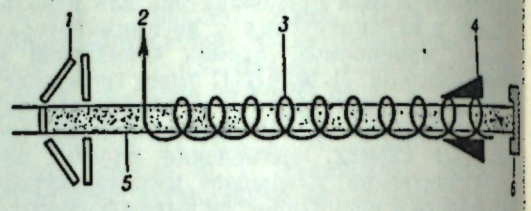


Рис. 1. Схема лампы обратной волны: *1* — электронная пушка; *2* — выход лампы; *3* — замедляющая система; *4* — согласованная нагрузка; *5* — электронный пучок; *6* — коллектор.

полем обратной пространств. гармоники при токе луча, большем пускового тока. Средняя скорость электронного потока примерно равна фазовой скорости обратной пространств. гармоники, у к-рой фазовая и групповая скорости направлены в разные стороны. Поток СВЧ мощности в Л. о. в. имеет направление, противоположное направлению движения электронов (рис. 1). Поэтому возникает распредел. обратная связь, к-рая создает необходимые условия для возникновения автоколебаний и получения непрерывности в перестройке частоты. Обратная связь за счет отражений от концов замедляющей системы (ЗС) является в данном случае вредной, т. к. приводит к колебаниям уровня мощности по диапазону. Для ликвидации обратной связи за счет отражений от выходного узла лампы на коллекторном конце ЗС помещается хорошо согласованная широкополосная нагрузка. Типичными ЗС, используемыми в Л. о. в., являются: встречные штыри, двухзаходная спираль при противофазном возбуждении проводов, одиночная гребенка и однопроводная спираль. Лампы с первыми двумя ЗС обладают наибольшей рабочей полосой частот. Электронная пушка в большинстве случаев формирует параллельный пучок, реже применяется пушка со сходящимся пучком. Фокусировка электронного потока осуществляется продольным магнитным полем пост. магнита (соленоида) или электростатич. полями (периодич. или центробежная электростатич. фокусировка). Электронный кпд Л. о. в. несколько меньше, чем у *ламп бегущей волны* (ЛБВ), из-за того, что в Л. о. в. нарастание волн пространств. заряда и поля происходит в противоположных направлениях. Так же, как и у ЛБВ, кпд Л. о. в. можно повысить, применив рекуперацию энергии «отработавших» электронов, путем понижения потенциала коллектора. Для этой цели коллектор лампы должен иметь специальное устройство.

Особенности Л. о. в.: 1) СВЧ мощность на выходе лампы в рабочей полосе частот имеет

неск. максимумов и минимумов с тенденцией нарастания среднего уровня мощности в сторону коротких волн. Изменение мощности в полосе порядка октавы составляет 5—10 *дб*. 2) Изменение параметров нагрузки слабо влияет на уход частоты и изменение мощности. Благодаря этому свойству Л. о. в. может работать без развязки или с малой развязкой между генератором и нагрузкой. 3) В спектре генерируемых колебаний Л.о.в. иногда могут быть боковые частоты, отстоящие от основной частоты на неск. *Мгц*. Амплитуда боковых частот зависит от степени вакуума в лампе. В хорошо откаченных и оттренированных лампах амплитуда колебаний основной частоты превышает амплитуду колебаний боковых частот на 30 *дб* и более. В недовозбужденном режиме при токе лампы, меньшем пускового тока, Л. о. в. может усиливать СВЧ сигналы в узкой полосе частот с возможностью электронной перестройки этой полосы в широком диапазоне частот. СВЧ сигнал вводится в ЗС со стороны коллектора, усиленный сигнал снимается со стороны пушки (у ЛБВ расположение входа и выхода обратное). Л. о. в. как усилитель имеет регенеративный характер усиления. Чем больше ток, тем больше усиление и тем меньше полоса усиливаемых частот. Однако получить большое усиление т. о. не удается из-за склонности лампы к самовозбуждению. В 1955 [2] была предложена двухкаскадная Л. о. в., к-рая работает устойчиво благодаря снижению отношения рабочего тока к пусковому. Потеря в усилении одной секции компенсируется действием второй секции лампы. Секции ЗС изолированы друг от друга по СВЧ и простреливаются последовательно одним электронным лучом

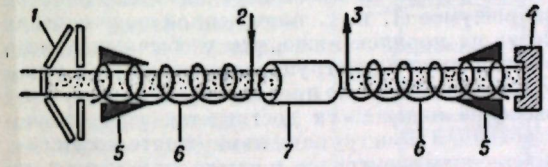


Рис. 2. Схема двухкаскадной усилит. лампы обратной волны: *1* — электронная пушка; *2* — вход лампы; *3* — выход лампы; *4* — коллектор; *5* — согласованные нагрузки; *6* — замедляющая система; *7* — пролетная трубка.

(рис. 2). Л. о. в. (усилитель) применима в приемниках прямого усиления с автоматич. перестройкой частоты.

Лит.: 1) Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960; 2) Currie M. R. and Whinnery J. R., The cascade backward-wave amplifier: a high-gain voltage-tuned filter for microwaves, «Proc. I. R. E.», 1955, v. 43, № 11, p. 1617—1631.

Е. Г. Соловьев.

ЛАМПА ПРИЕМНО-УСИЛИТЕЛЬНАЯ (receiver-amplifier tube; lampe de réception à amplification; Empfangs-Verstärkerröhre) — электронная лампа малой мощности для генерирования и усиления электромагнитных колебаний, детектирования, преобразования частоты и др. целей. Подавляющее большинство Л. п.-у. применяется в приемно-передающих радиоустройствах, электронной автоматике, телемеханике, счетно-решающих машинах и т. п.

По числу электродов Л. п.-у. подразделяются на диоды, триоды, тетроды, пентоды, гексоды, гептоды и октоды. Диод имеет два электрода — катод и анод, триод — катод, сетку и анод, тетрод — катод, две сетки и анод и т. д. Нек-рые типы Л. п.-у. могут иметь более 8 электродов. Лампы, имеющие больше трех электродов, иногда наз. многоэлектродными. Основными узлами Л. п.-у. являются: катод, служащий источником свободных электронов, сетки (электроды спец. формы) и анод — для управления электронным потоком. Катод и др. электроды помещаются в баллон, внутри к-рого создается вакуум. Иногда в одном баллоне монтируют 2 диода, триод и пентод, двойной диод и пентод или др. сочетания одинарных ламп. Такие лампы наз. комбинированными. Лампы, составляющие комбинированную лампу, могут иметь отдельные или общие катоды. Баллоны изготовляются из стекла, металла или керамики.

По конструктивному оформлению Л. п.-у. подразделяются на стеклянные крупногабаритные, миниатюрные (пальчиковые) в стеклянных баллонах диаметром 22,5—17 *мм*, сверхминиатюрные (диаметр баллонов 7—12 *мм*), маячковые и карандашные. В крупногабаритных лампах используются, как правило, цоколи; миниатюрные лампы имеют жесткие выводы; в обеих конструкциях применяются специальные панели. Сверхминиатюрные лампы имеют гибкие выводы для непосредственного их впаивания в схему. Маячковые и карандашные лампы имеют дисковые или цилиндрич. выводы, удобно сочленяемые с колебат. системами.

По способу нагрева катодов Л. п.-у. разделяются на лампы с катодами прямого и косвенного накала (подогревные). Первые экономичнее вторых. Время разогрева прямонакальных катодов, питаемых пост. током, мало (меньше 1 сек.). Подогреватели катодов косвенного накала питаются перем. током, при этом за счет тепловой инерции катодов эмиссия электронов во времени практически не изменяется. Время разогрева их 40—60 сек. Напряжение накала подогревных ламп чаще всего 6,3 *в* (при токах 0,15—1 *а*), а для отдельных типов 3,15 *в* или 12,6 *в*. Напряжение накала прямонакальных ламп 1,2 *в* или 2,4 *в* (при токах 0,013—0,4 *а*) и реже 0,6 *в*.

Лампы косвенного накала, как правило, рассчитаны на паралл. включение подогревателей. За рубежом выпускаются лампы с подогревателями для последоват. включения. Такие лампы можно применять без тр-ра, но возможности снижения расхода электроэнергии в этом случае ограничены. Мощности, рассеиваемые на анодах Л. п.-у., не превышают 20 *вт*, напряжение на электродах обычно составляет 100—150 *в* и не превышает 300—400 *в*. Нек-рые экономичные прямонакальные лампы могут использоваться при напряжениях на электродах 10—20 *в*.

По видам преимуществ. использования Л. п.-у. можно подразделить на подгруппы:

Выпрямительные диоды (кенотроны) для преобразования НЧ перем. тока в постоянный. Обычные кенотроны позволяют получить выпрямл. ток до неск. сот *ма*. Детекторные диоды в миниатюрном и сверхминиатюрном оформлении выпрямляют токи порядка неск. *ма* на частотах до 100—200 *Мгц*. Нек-рые типы детекторных диодов в маячковом или карандашном оформлении работают на частотах, превышающих 10 *Гц*.

Регулировочные триоды, используемые в качестве проходных ламп в

электронных стабилизаторах напряжения, позволяют пропускать токи от 0,1 до 1 *а*.

Генераторные СВЧ триоды в карандашном оформлении могут применяться до частот 2—3 *Ггц*, при этом генерируемые мощности составляют 50—200 *мвт* и более. Генераторные маячковые триоды малой мощности работают на частотах до 10 *Ггц*, отдавая мощности 10—30 *мвт*; они так же, как и карандашные триоды, могут использоваться в качестве усилителей (на частотах до 2—3 *Ггц*) и умножителей частоты. Триоды в миниатюрном и сверхминиатюрном оформлении используются в генераторах и усилителях на частотах до 100—200 *Мгц* (иногда до 400—500 *Мгц*), а также для генерирования, формирования и усиления импульсных сигналов.

Высокочастотные пентоды — усилители на частотах до 100—200 *Мгц* могут иметь короткую и удлиненную (для схем АРУ) хар-ку. Широкополосные пентоды применяются для широкополосного усиления импульсных сигналов. Оконечные пентоды (тетроды)—для усиления пост. тока, а также НЧ и импульсных колебаний.

Преобразовательные лампы — пентоды с двойным управлением (используются и для усиления), гексоды, гептоды (пентагриды) и октоды, предназначены для преобразования частот (до 100—150 *Мгц*).

Лампы для выполнения специальных функций: а) электронно-световой индикатор, имеющий светящийся экран, величина поверхности свечения к-рого зависит от управляющего напряжения, используется в качестве указателя настройки, нулевого прибора, индикатора сигналов; б) лампы с хар-ками спец. формы — логарифмическими, квадратичными, показательными и др., используются в схемах счетно-решающих машин; в) электрометрич. лампы, отличающиеся высоким входным сопротивлением для усиления слабых токов (до 10^{-15} *а*); г) транзитронно-регенеративные лампы, имеющие ступенчатую зависимость анодного тока от входного напряжения; применяются в схемах ограничителей.

Для многих случаев важнейшим параметром лампы является крутизна хар-ки (отношение приращения анодного тока к вызвавшему его малому приращению напряжения на управляющей сетке). Лампы с высокой крутизной (15—50 *ма/в*) имеют малые расстояния (до 25—30 *мк*) между управляющей сеткой и катодом. Повышение крутизны достигается также использованием вторичной эмиссии и применением катодных сеток. Вторичная эмиссия вызывается первичным электронным потоком с электрода, наз. динодом, при этом первичный ток и крутизна лампы увеличиваются в σ раз (σ — коэфф. вторичной эмиссии). Включение нагрузки в цепь динода позволяет получить усиление напряжения без изменения фазы. Крутизна ламп со вторичной эмиссией может достигать 30—50 *ма/в* в непрерывном и 300—500 *ма/в* в импульсном режимах. Л. п.-у. со вторичной эмиссией отличаются от обычных ламп меньшей долговечностью. В Л. п.-у. с катодными сетками между катодом и управляющей сеткой помещается дополнит. катодная сетка. Крутизна этих ламп достигает 30 *ма/в*. Введение катодной сетки уменьшает входную емкость лампы примерно вдвое по сравнению с широкополосными пентодами, в результате при той же крутизне коэфф. широкополосности увеличивается почти в два раза. Триоды с катодной сеткой используются в вычислит. машинах в схемах триггеров.

Долговечность Л. п.-у. (время, в течение к-рого ухудшение параметров ламп не превышает установленных норм для определ. % испытываемых образцов) составляет не менее 500 час. при годности не менее 90—98%. Многие типы ламп имеют долговечность не менее 5000—10000 час. при годности не менее 80—95% (часть этих ламп имеет аналоги с долговечностью 500—1000 час.). Спец. типы ламп для подводных кабелей связи имеют долговечность 50—100 тыс. час. Лампы повышенной надежности (с повышенной вероятностью безотказной работы в течение заданного времени при определ. условиях эксплуатации) отличаются хорошими эксплуатац. хар-ками. Они сохраняют работоспособность при воздействии: вибраций с ускорением 6—15*g*, многократных ударов с ускорением 120—150*g* и одиночных ударов с ускорением 500*g*, повышенной до 150—200° и пониженной до —70° темп-ры окружающей среды. При эксплуатации в таких условиях параметры и хар-ки обычных ламп ухудшаются. Лампы, баллоны к-рых изготовляются из тугоплавкого стекла или керамики, устойчиво работают при темп-рах окружающей среды до 300°. При работе Л. п.-у. в условиях вибрации вследствие недостаточно жесткого закрепления электродов и др. дефектов конструкции и технологии могут иметь место изменения междуэлектродных расстояний. В этом случае на сопротивлении анодной нагрузки лампы возникает перем. напряжение, наз. напряжением виброшумов. При ускорении 6*g* напряжение виброшумов обычных ламп не превышает 100 *мв*. Уровень виброшумов Л. п.-у. повышенной надежности почти на порядок ниже, чем у обычных ламп; в специально сконструированных лампах уровень виброшумов не превышает единиц *мв*. Повышение надежности достигается усовершенствованием конструкции ламп (тщательным закреплением электродов в слюде, уменьшением допусков на размеры деталей и т. п.), улучшением технологии производства, введением длительных тренировок, стабилизирующих параметры ламп, жестким контролем исходных материалов и готовых ламп.

Основные направления дальнейшего развития Л. п.-у. состоят в повышении эффективности параметров (крутизны, коэфф. широкополосности и т. п.), повышении предельных рабочих частот, увеличении экономичности, уменьшении размеров. Практический интерес представляют разработки с новыми хар-ками, напр. лампы с электромагнитным управлением электронным потоком, переключающие лампы и другие. При повышении экономичности особое внимание уделяется созданию т. н. холодных катодов, работающих без затрат энергии на подогрев. Актуальны задачи дальнейшего повышения долговечности и надежности Л. п.-у.

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960; Гапонов В. И., Электроника, ч. 1—2, М., 1960; Черепнин Н. В., Электронные лампы для широкополосных усилителей, М.—Л., 1958.

Н. В. Черепнин

ЛАМПА РАЗБОРНАЯ ЭЛЕКТРОННАЯ (dismountable electronic tube; lampe électronique démontable; zerlegbare electronische Röhre) — мощное генераторное электровакуумное устройство с непрерывной откачкой, приспособленное для полной или частичной разборки со сменой выходящих из строя деталей (обычно катодов) на месте эксплуатации.

Физ. принципы работы Л. р. э. не отличаются от аналогичных электровакуумных приборов отпаянного типа. По конструктивному оформлению и эксплуатац. свойствам составляют особую группу генераторных ламп, используемых в широком диапазоне волн и мощностей в радиовещании, телевидении, радиосвязи, пром. электротермии, в ускорителях частиц и др. областях науки и техники. Эта группа мощных электровакуумных приборов, кроме *триодов* и *тетродов*, включает в себя *клистроны*, *лампы бегущей волны* и нек-рые виды *магнетронного типа приборов* (усилители).

Тех. преимущества мощных Л. р. э. перед обычными отпаянными: технология разработки и изготовления значительно проще, особенно для ультракоротких и дециметровых волн; разборная конструкция обеспечивает легкое и оперативное моделирование любых конструктивных элементов и корректировку их основных электрич. параметров при разработке и эксплуатации, поэтому особенно целесообразно использование в научно-исследовательских и эксперимент. работах, в аппаратуре разового или ограничн. применения; в диапазоне коротких, ультракоротких и дециметровых волн возможна работа на различных частотах и мощностях при замене отдельных деталей или узлов; мощные Л. р. э., обычно значительно легче, чем отпаянные лампы, могут быть выполнены в виде многоэлектродных конструкций (тетроды, пентоды) для работы в самом широком диапазоне волн; специфика технологии изготовления Л. р. э. допускает их массовое производство не на специализированных электровакуумных заводах, а на обычных предприятиях среднего машиностроения; Л. р. э. могут быть сконструированы и изготовлены на мощности в неск. сотен *квт* в диапазоне дециметровых волн и на неск. тысяч *квт* для коротких и длинных волн; Л. р. э. можно эффективно использовать на объектах, расположенных в весьма удаленных или труднодоступных местах.

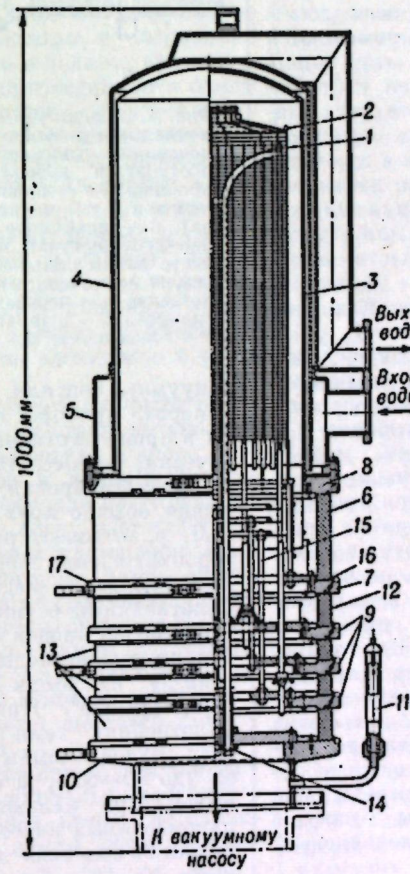


Рис. 1. Разборный триод РГ-500 («колпакового» типа) мощностью 500 *квт* для работы на средних и длинных волнах: *1* — нити катода; *2* — сетка; *3* — анод; *4* — рубашка охлаждения анода; *5* — расширитель рубашки охлаждения анода; *6*—анодный изолятор; *7* — сеточный фланец; *8* — анодный фланец; *9*—катодные фланцы; *10* — нулевой фланец; *11* — манометрич. лампа; *12* — сеточный изолятор; *13* — катодные изоляторы; *14* — центр. катодная ферма; *15* — катодные траверзы; *16*—мастичные уплотнения; *17* — трубки охлаждения фланцев.

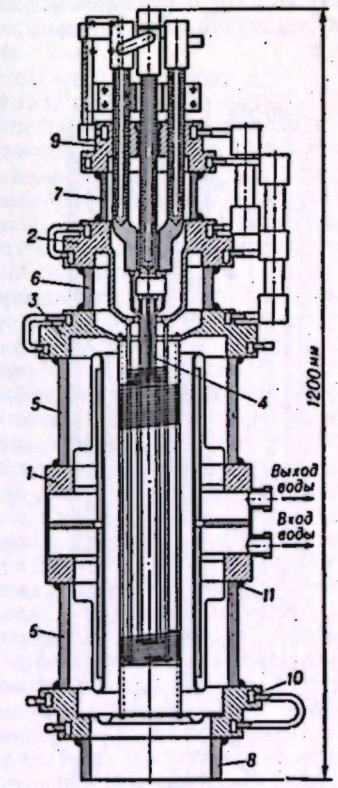


Рис. 2. Разборный коротковолновый тетрод («сквозного» типа) мощностью 250 *квт*: *1* — анод с рубашкой охлаждения; *2* — управляющая сетка; *3* — экранная сетка; *4* — катод; *5* — изолятор анод — экранная сетка; *6* — изолятор экранная сетка — управляющая сетка; *7* — изолятор управляющая сетка — катод; *8* — изолятор экранная сетка — земля; *9*—катодная головка с выводами накала; *10* — каналы охлаждения фланца; *11* — мастичные вакуумные уплотнения.

Недостатки Л. р. э.: использование всегда связано с применением откачных систем; при смене катодов или ремонте деталей внутр. арматуры нуждаются в дополнит. времени для своего запуска в работу и тренировки; для профилактич. или аварийного ремонта при эксплуатации требуется наличие на объекте вакуумной технологич. мастерской; необходимо обучение части обслуживающего персонала элементам вакуумной технологии.

Наиболее распространены две типовые конструкции Л. р. э. для ультракоротких и длинных волн — «колпаковая» и «сквозная», отличающиеся друг от друга способом крепления внутр. арматуры, допускающим ее сборку и разборку при замене катодов. Оба типа имеют т. н. плоскошлифную многоярусную конструкцию из последовательно чередующихся цилиндрич. изоляторов и массивных медных фланцев. Л. р. э. «колпакового» типа обычно заканчиваются глухим анодом с рубашкой охлаждения (рис. 1), а «сквозного» — катодно-сеточной головкой (рис. 2). Изоляторы Л. р. э. выполняются из непрозрачного кварца, калита, стеатита или радиофарфора. На плоскостях фланцев, расположенных в вакууме, закрепляются внутр. арматура — сетка, катодная система, экраны и т. п. Внутр.

арматура большинства УКВ и длинноволновых Л. р. э. (сетки, траверсы, экраны и т. п.) выполняется из тугоплавких металлов — молибдена, тантала и вольфрама. Все узлы и детали, охлаждаемые водой, в том числе фланцы и анод,— из меди, а иногда из спец. сортов стали. В большинстве конструкций сетки имеют цилиндрич. форму и состоят из ряда вертикальных молибденовых траверз, на к-рые с определ. шагом навиваются и закрепляются вольфрамовые проволоки.

Катодная система Л. р. э.— обычно в виде «беличьего колеса», состоит из ряда, расположенных по окружности цилиндра, вертикальных вольфрамовых нитей (до неск. десятков). В лампах средней мощности применяются тяжелые нити П-образной формы по неск. нитей параллельно. Для предотвращения деформации катодных нитей они поддерживаются в прямолинейном натянутом состоянии пружинками или грузиками — чаще всего самих катодных траверз. Катодные системы Л. р. э. питаются пост. или переменным током; в последнем случае, особенно при больших мощностях, чаще применяется трехфазная система (рис. 3). Нити катодов Л. р. э. изготовляют из вольфрамовой проволоки марки ВА, торированного вырождающегося вольфрама, вольфрама или тантала, покрытого окисным слоем. Срок службы катодов

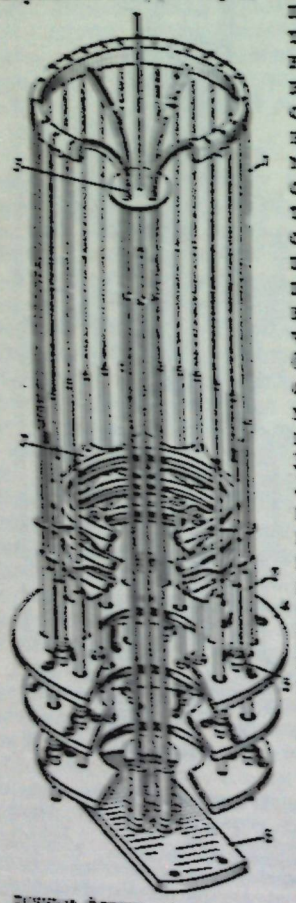


Рис. 3. Катодная система разборного триода 2Г-30С: 1 — катодные нити; 2 — траверзы; 3 — вольфрамовые опоры; 4 — танталовые фланцы; 5 — гибкие вольфрамовые соединения; 6 — сборная шайба; 7 — вольфрамовые «усики».

и вольфрамовых Л. р. э. 5000—7000 час. В Л. р. э. применяются металлические, керамические и металлокерамические вакуумные уплотнения. Вакуум, получаемый в Л. р. э. с резиновыми и мастичными уплотнениями 10^{-4}—$5 \cdot 10^{-4}$ мм рт. ст., с металлическими — 10^{-6}—10^{-5} мм рт. ст.

Рост колебат. мощностей генераторов дециметрового и нижней части метрового диапазонов стимулировал создание новых цельнометаллич. Л. р. э. триодного и тетродного типов с объемными контурами в вакууме (см. *Резонатор*).

В Л. р. э. резинотканевого типа применяют подвижные вакуумные уплотнения (рис. 4) «сильфонного» или сильфонного типа (тонкостенные и из нержавеющей стали), механизмы для передачи движения из атмосферы в вакуум при помощи магнитных и электромагнитных приборов и системы с перек. вращающимся магнитным полем.

Для непрерывной откачки Л. р. э. используются: форвакуумные мех. насосы, высоковакуумные паромасляные диффуз. насосы,

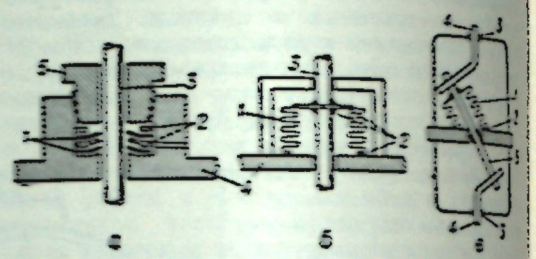


Рис. 4. Подвижные вакуумные уплотнения, применяемые в разборных электронных лампах: а — сильфонное уплотнение. Сильфон для передачи поступат. и вращат. движения (1 — резиновая прокладка, 2 — внешние шайбы, 3 — уплотняемый вал (ось), 4 — корпус, 5 — стягивающая гайка); б — сильфонное подвижное уплотнение для передачи поступат. движения (1 — сильфон, 2 — место пайки сильфона с корпусом и осью, 3 — ось, 4 — корпус); в — сильфонное подвижное уплотнение для передачи вращат. движения (1 — сильфон, 2 — шарнир, 3 — подшипник, 4 — вращающаяся ось, 5 — соединит. штуц).

вакуумные вентили, трубопроводы, вакуумно-измерит. приборы и др. Форвакуумные насосы в процессе откачки Л. р. э. работают периодически, процесс включения и выключения их автоматизирован, а диффузионные — непрерывно, обычно круглосуточно.

Л. р. э. имеют разветвленное интенсивное водоохлаждение почти всех основных узлов, выполненных из меди. В Л. р. э. с мастичными уплотнениями осуществляется раздельное питание водой анодов и фланцев. При этом вода, охлаждающая аноды, должна иметь выходную темп-ру не выше 40—45°, а фланцы — не более 20—25°. При резиновых вакуумных уплотнениях темп-ра отходящей воды для всех узлов лампы может быть одинакова (до 50—60°), а при металлических — еще выше. При охлаждении рубашек диффузионных паромасляных насосов и ловушек к ним отходящая от них вода должна иметь темп-ру не выше 10—15°. Для предупреждения попадания в узкие каналы нек-рых узлов охлаждения Л. р. э. мусора и грязевых отложений из трубопроводов устанавливаются мех. фильтры. Вода для охлаждения ламп и диффуз. насосов должна быть дистиллированной. В нек-рых случаях допускается работа на сырой воде с уд. сопротивлением 4000—5000 ом·см.

Лит.: Кугушев А. М., Карповский Д. И., Мощные радиолампы-генераторы УКВ, «Радио», 1947, № 6; Андреев П. Н., Наполова Г. А., Нейман М. С., Мощные резонаторные автогенераторы метровых и дециметровых волн, там же, 1960, № 11; Андреев П. Н., Зарянов Н. Р., Техника разборных ламп, М., 1956; Минц А. Л. (и др.), Генераторный триод с непрерывной откачкой РТМ-300, «Радио», 1957, № 2, вып. 10.

П. Н. Андреев.

ЛАМПА РЕАКТИВНАЯ — электронная схема, выходное сопротивление к-рой имеет емкостной или индуктивный характер, см. *Реактивная лампа*.

ЛАМПА С АВТОЭЛЕКТРОННОЙ ЭМИССИЕЙ (autoelectronic emission tube; lampe à autoémission; Röhre mit Autoemission) — электронная лампа с ненакаливаемым оксидно-магниевым катодом, состоящим из никелевого основания, покрытого пористым слоем окиси магния толщиной около 30 *мк*.

Холодная эмиссия электронов из оксидно-магниевого катода возникает под действием положит. зарядов, образующихся в поверхностном слое окиси магния при бомбардировке катода потоком электронов в момент его включения. Во время работы катода положит. заряд в слое окиси магния поддерживается вследствие вторичной эмиссии электронов из стенок пор, через к-рые в этом слое проходят электронные потоки.

Усилит. лампы с оксидно-магниевыми катодами имеют три сетки, анод и вольфрамовые нити стартера, расположенные в специально сделанных отверстиях в анодном цилиндре. Эти вольфрамовые нити присоединяются одним концом к аноду, а другим — к отдельному вводу в лампу и служат источниками электронов, к-рыми бомбардируется оксидно-магниевый катод в момент включения лампы, а следовательно, напряжение накала на нити подается только в этот момент. Первая и третья сетки лампы соединяются и служат управляющей сеткой, и на вторую сетку через сопротивление подается пост. положит. потенциал по отношению к катоду, необходимый для поддержания эмиссии электронов с этого катода.

Лампы данного типа имеют габариты обычных усилит. ламп. Они работают только при положит. потенциалах на сетках и аноде. Управление анодным током в лампе возможно лишь при положит. потенциале на управляющей сетке, при к-ром на сетку идет электронный ток, что ограничивает применение ламп данного типа. Кроме того, эти лампы имеют больший уровень шумов по сравнению с лампами, в к-рых источником электронов служит термоэлектронный катод. Лампы с оксидно-магниевыми катодами в усилителях звуковой частоты могут заменять лампы с накаленным катодом. Крутизна хар-ки анодного тока у этих ламп около 1 *ма/в*.

Основные преимущества ламп с оксидно-магниевыми катодами: принципиально неогранич. срок их службы и малое время, необходимое для начала работы лампы после ее включения.

Лит.: Аранович Р. М., Ксендзацкий И. Г., Тимофеев П. В., Электронные лампы с холодными катодами, «ИАН СССР. ОТН. Энергетика и автоматика», 1960, № 6, с. 143; Skellett A. M., Firth B. G., Mayer D. W., The magnesium oxide cold cathode and its application in vacuum tubes, «Proc. I.R.E.», 1959, v. 47, № 10, p. 1704.

П. В. Тимофеев.

ЛАМПА С ПЕРЕМЕННОЙ КРУТИЗНОЙ, лампа с удлиненной характеристикой (variable slope electron tube; tube électronique à pente variable; Röhre mit veränderlicher Steilheit),— *пентод* (*тетрод*), имеющий длинный пологий участок анодно-сеточной хар-ки (рис. 1, кривая *3*). Л. с п. к. широко применяется в НЧ и ВЧ усилителях радиоприемных устройств с автоматич. регулированием усиления. Применение подобных ламп в радиоприемных устройствах обеспечивает оптимальное усиление слабых и сильных сигналов, а также сглаживает возможные их колебания. Длинный участок анодно-сеточной хар-ки получается благодаря тому, что проницаемость первой сетки переменна по ее длине; это достигается изменением шага навивки витков управляющей сетки. Практически в лампах с навитыми сетками это делается удалением 1—2 витков (рис. 2, *а*), а в лампах со стержневой конструкцией электродов в стержне управляющей сетки выбирается небольшой паз (рис. 2, *б*). Работу Л. с п. к. можно представить как действие двух параллельно соедин. ламп:

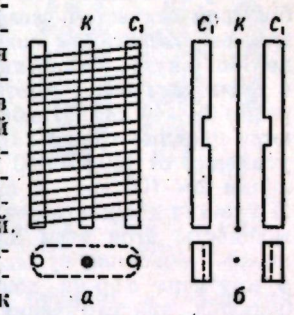


Рис. 2.

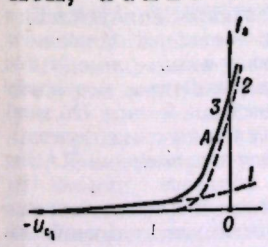


Рис. 1.

одной с редкой сеткой и, следовательно, с малым коэфф. усиления μ' и второй с густой сеткой с большим коэфф. усиления μ''. При подаче на сетку большого отрицат. напряжения $U_{д2}$ анодный ток «второй лампы» будет равен нулю, т. к. при большом μ'' запирающий потенциал $U_{с1\,зап} = -U_{д2}/\mu''$ невелик. В таком режиме работает только лампа с редкой сеткой и малыми размерами катода и анода, где анодный ток, крутизна хар-ки S' и коэфф. усиления μ' малы. В этой лампе хар-ка анодного тока $I_a = f(U_{c1})$ (U_{c1} — напряжение управляющей сетки) представляет собой очень пологую кривую (кривая *1* на рис. 1). С уменьшением отрицат. напряжения на управляющей сетке откроется «вторая лампа», в к-рой сетка более густая и большие по размерам анод и катод. Следовательно, анодный ток, крутизна хар-ки (S'') и коэфф. усиления здесь будут больше. Хар-ка анодного тока у такой лампы начинается при малых отрицат. напряжениях управляющей сетки. При дальнейшем уменьшении сеточного напряжения по абсолютной величине крутизна лампы круто возрастет (кривая *2*). Суммируя кривые *1* и *2*, получим хар-ку всей лампы в целом (сплошная линия). Из рисунка видно, что при малых отрицат. напряжениях на управляющей сетке (точка *A*) лампа имеет большую крутизну хар-ки анодного тока, равную $S = S' + S''$.

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960.

П. К. Дадерко.

ЛАМПА УСИЛИТЕЛЬНАЯ (amplifier tube; lampe d'amplification; Verstärkerröhre)— электронная лампа для усиления напряжений, мощности электрич. колебаний пост. тока. В зависимости от частоты усиливаемых колебаний и электрич. параметров Л.у. делят на группы: а) для усиления пост. тока и напряжения, работающие при частотах, равных или близких к нулю; б) для усиления низкой (звуковой) частоты в схемах предварительного и оконечного усиления напряжения и мощности, рабочие частоты до 16—20 *кгц*; в) для усиления напряжения и мощности ВЧ, рабочие частоты 20 *кгц*—30 *Мгц*; г) для широкополосного усиления (усиление импульсных и видеосигналов), полоса частот десятки *Мгц*; д) для усиления СВЧ свыше 30 *Мгц*.

Для усиления пост. тока чаще всего применяют *лампы приемно-усилительные*, а для очень слабых токов — *лампы электрометри-*

ческие. Для работы в предварит. каскадах устройств НЧ применяются *триоды* и *пентоды* — усилители напряжения. Динамич. коэфф. усиления Л. у.

$$\mu_d = \frac{\mu}{1+R_i/R_a}.$$

Из ф-лы видно, что лампа должна иметь большой статистич. коэфф. усиления μ. Для триодов характерен коэфф. усиления от 20 до 100, внутр. сопротивление обычно в 3—4 раза меньше сопротивления нагрузки и равно 30—40 *ком*. Наиболее широко применяются двойные триоды. Пентоды имеют коэфф. усиления от 150 до 600 при внутр. сопротивлении 20—100 *ком*. В оконечных усилителях НЧ лампа должна иметь достаточно большую мощность. При этом для триодов величина коэфф. усиления существ. роли не играет, а крутизна хар-ки должна быть возможно большой для получения большей амплитуды перем. составляющей анодного тока. Предпочтительно применение пентодов благодаря большому коэфф. усиления, а также потому, что ту же величину мощности можно получить при меньшей величине напряжения на сетке, чем у триодов. У пентодов кпд больше, чем у триодов, но качество усиления хуже. При одинаковом допустимом % искажения отдача по мощности у триода и пентода примерно одинакова. Широкое распространение для оконечного устройства НЧ получили *лучевые тетроды*, к-рые благодаря использованию большой амплитуды анодного напряжения позволяют получить бо́льшие мощности, чем с пентодом.

Для устройств ВЧ применяются, как правило, только пентоды. Большая величина проходной емкости $C_{пр}$ ограничивает применение триодов.

Макс. устойчивое усиление определяется ф-лой:

$$K_{макс} = 0{,}42\sqrt{S/\omega C_{пр}},$$

где ω — частота. ВЧ пентод имеет высокую крутизну хар-ки (8—10 *ма/в*) и малую проходную емкость (0,03—0,006 *пф*). Уменьшение емкости достигается тщательным экранированием и др. мерами. Внутреннее сопротивление пентодов равно 1—3 *Мом*. Важным параметром ВЧ пентодов являются собств. шумы (вызываемые дробовым эффектом, флуктуацией токов, фликкер-эффектом и микрофонным эффектом), определяющие предельный уровень сигнала, различимый на фоне шумов. Величина собств. сопротивления шумов ламп составляет от сотен *ом* до единиц *ком*.

Нек-рые типы ВЧ пентодов, предназначенные для работы в АРУ, имеют удлин. участок анодно-сеточной хар-ки и наз. пентодами с перем. крутизной (см. *Лампа с переменной крутизной*).

Л. у. НЧ и ВЧ выпускаются с подогревным и прямонакальным катодами. В основном имеют пальчиковое и сверхминиатюрное цельностеклянное оформление (см. *Лампа миниатюрная*). Широкое распространение в приемных устройствах и телевизорах получили *лампы электронные комбинированные*. Дальнейшим развитием этих ламп явились т. н. компактронные. Компактрон (compactron) характеризуется тем, что в одной колбе помещается неск. систем электродов, выполняющих различные ф-ции. Два компактрона заменяют в аппаратуре 5 приемно-усилит. ламп. В одной колбе может находиться до 4 систем электродов.

Дальнейшим развитием Л. у. явились т. н. нувисторы (nuvistor RCA USA) — лампы в металло-керамич. оформлении с цилиндрич. системой электродов. По своим габаритам нувисторы значительно меньше приемно-усилит. ламп и соизмеримы с *транзисторами*. Нувисторы используются в устройствах НЧ и ВЧ и работают в относительно узкой полосе частот.

Для широкополосного усиления (импульсных, видеосигналов) применяются пентоды, реже тетроды и триоды. Широкополосные лампы являются спец. типами обычных ВЧ ламп. Коэфф. широкополосности ламп

$$\gamma = S/(C_{вх}+C_{вых}),$$

где $C_{вх}$, $C_{вых}$ — входная и выходная емкости. Т. о., его увеличение идет за счет уменьшения суммарной емкости и увеличения крутизны хар-ки. Уменьшение расстояния сетка — катод и применение мелкоструктурных сеток позволили поднять S до 30—50 *ма/в*.

При дальнейшем увеличении частоты до 30 *Мгц* и выше у ламп с обычной конструкцией возрастают входная и выходная проводимости вследствие усиливающегося влияния на их работу инерции электронного потока, индуктивности и взаимной индуктивности выводов, междуэлектродных и паразитных емкостей. Поэтому Л. у. дециметрового и метрового диапазонов конструируются так, чтобы выходная и входная проводимости были наименьшими, крутизна большая, емкости минимальные. Это достигается уменьшением всех размеров электродов, исключением цоколя, укорочением выводов, рациональным их размещением и т. д.

Пентоды обладают высоким уровнем шумов, что делает их неприемлемыми при усилении сигналов на волнах короче 50—60 *см*. Широкое применение получили *лампы маячковые*, успешно работающие на волнах до 7—8 *см*. Более совершенными являются титанокерамические триоды с дисковыми выводами, работающие на волне до 3 *см*. Также широко распространены карандашные триоды металло-стеклянные и металлокерамические.

Для усиления сигналов сантиметрового и отчасти миллиметрового диапазонов применяются *лампы бегущей волны* и *лампы обратной волны*.

Одним из видоизменений усилит. ламп обратной волны типа М является *платинотрон* и его разновидность амплитрон, используемые в качестве мощного широкополосного усилителя.

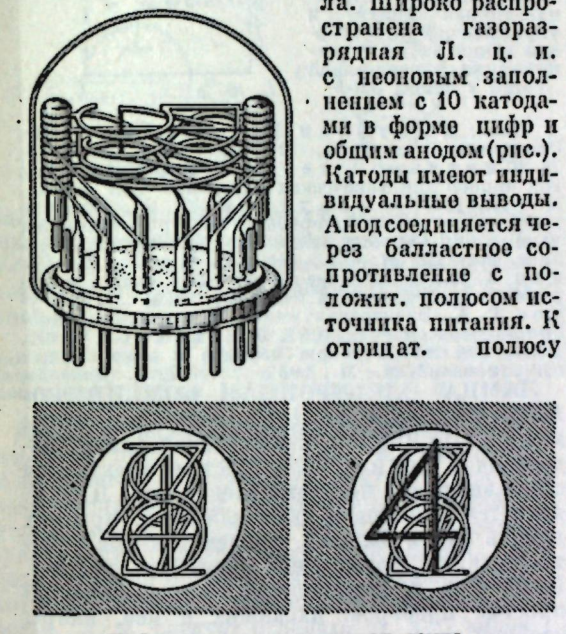
Все лампы, предназначенные для усиления НЧ и ВЧ, обладают большой долговечностью до 5000—10000 час. и более, имеют хорошую мех. прочность и устойчивы к воздействию климатических факторов — все это позволяет применять их в сложных эксплуатац. условиях (см. *Надежность электронной аппаратуры*).

Последующее развитие и совершенствование всех приборов идет по линии дальнейшей миниатюризации, улучшения электрич. параметров, повышения долговечности и надежности.

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960.

И. К. Дадерко.

ЛАМПА ЦИФРОВОЙ ИНДИКАЦИИ (digital indicating electron tube; tube électronique indicateur numérique; Röhre zur Zifferanzeige, Zahlenanzeigeröhre) — лампа с набором переключаемых по выбору световых изображений цифр (обычно от 0 до 9). Предназначена для визуального воспроизведения информации в цифровой форме. Десятичный цифровой указатель составляется из неск. Л. ц. и., количество к-рых равно числу десятичных разрядов воспроизводимого числа. Широко распространена газоразрядная Л. ц. и. с неоновым заполнением с 10 катодами в форме цифр и общим анодом (рис.). Катоды имеют индивидуальные выводы. Анод соединяется через балластное сопротивление с положит. полюсом источника питания. К отрицат. полюсу



Цифровая газонаполненная лампа.

подключается тот катод, к-рый должен быть освещен. Контуры цифр взаимно перекрываются в фронтальной проекции, но они достаточно тонки и не закрывают изображения светящегося катода, к-рое утолщено ореолом светящегося газа. Управляются Л. ц. и. релейно-контактной аппаратурой и бесконтактными электровакуумными, газоразрядными или ПП приборами. При бесконтактном управлении выбранный катод не подсоединяется к отрицат. полюсу источника питания, а на него подается отрицат. потенциал большей величины, чем на остальные 9 катодов, достаточный для возникновения газового разряда; разность потенциалов между анодом и остальными катодами ниже потенциала гашения (см. также *Лампа неоновая индикаторная*).

Лит.: Соловейчик И. Е., Анищенко П. М., Знаковая индикация и ее применение в современных радиоэлектронных системах, М., 1959.

Я. А. Куперминдт.

ЛАМПА ЭЛЕКТРОМЕТРИЧЕСКАЯ (electrometer tube; tube électromètre; Electrometerröhre) — приемно-усилит. лампа, сеточный ток к-рой достаточно мал (10^{-13}—10^{-15} *а*). Л. э. (рис. 1) широко применяются в измерит. схемах эксперимент. физики, химии, астрономии, в САК, дозиметрии радиоактивных излучений, pH-метрии, звездной фотометрии — во всех случаях, когда нужно измерить очень малые величины токов или зарядов, напр. в устройстве для измерения ионного тока порядка 10^{-15} *а* на коллекторе масс-спектрометра. Основные качества Л. э.— большое сопротивление между сеткой и остальными электродами и исключительно малая величина сеточного тока при отрицат. потенциале сетки. Это необходимо для того, чтобы измерит. сопротивление могло выбираться достаточно большим, оставаясь в то же время меньше сопротивления

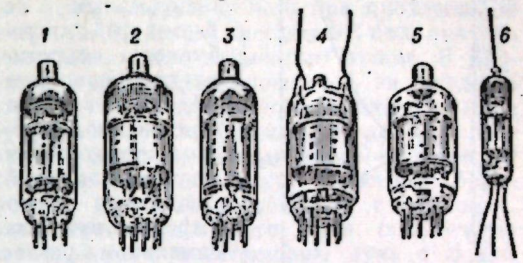


Рис. 1. Внешний вид нек-рых типов отечеств. электрометрич. ламп: *1* — 1Э1П; *2* — 2Э2П; *3* — ЭМ-4; *4* — ЭМ-5; *5* — ЭМ-6; *6* — ЭМ-7.

утечки сетки на 2—3 порядка, а также для снижения уровня флуктуац. шумов сеточного тока. Обычные усилит. лампы, имеющие сеточный ток порядка 10^{-8}—10^{-9}*а*, практически не дают возможности измерять токи, меньшие 10^{-11}—10^{-12}*а*, ввиду резкого возрастания времени, необходимого для проведения измерений (приходится брать чрезвычайно большие постоянные времени входной цепи).

В лампе существуют св. 10 компонент сеточного тока, различных по происхождению. Практически величина сеточного тока I_c ограничена 4 основными компонентами: током проводимости, электронным током, токами фотоэмиссий, вызываемыми тепловым излучением катода, и сверхмягким рентгеновским излучением катода и сверхмягким рентгеновским излучением анода. Токи проводимости определяются конструкцией лампы, материалами изоляторов и электрич. режимом. Спец. мерами можно снизить токи проводимости до $(1—5)\cdot10^{-16}$*а*. Электронный ток образуется за счет начальных скоростей электронов, эмитируемых катодом, имеющих энергию, достаточную для преодоления тормозящего поля сетки, и зависит от темп-ры катода и смещения на сетке. Почти полное торможение электронов и уменьшение электронного тока сетки практически достигаются при смещении на сетке от —1,5 *в* до —2 *в*. Величина тока фотоэмиссии, вызываемого тепловым излучением катода, зависит от темп-ры катода и при 800—900°K уменьшается до 10^{-11}—10^{-15} *а*. Ток фотоэмиссии, создаваемый сверхмягким рентгеновским излучением [3],

$$I_ф = cI_aZ\,(U_a-\varphi_c)^4,$$

где I_a — ток анода за счет сверхмягкого рентгеновского излучения; U_a — анодное напряжение; Z — атомный номер материала анода; φ_c — работа выхода сетки; c — величина, зависящая от геометрии лампы. Из ур-ния следует, что ток фотоэмиссии, обусловленный сверхмягким рентгеновским излучением, зависит в основном от анодного напряжения, поэтому Л. э. имеют низкое анодное напряжение 7—10 *в*. Л. э. по конструктивному выполнению делятся на триоды, обратные триоды, тетроды с катодной сеткой, платионы (триод, у к-рого анод и сетка в виде пластин помещены с противоположных сторон катода), тетроды с экранной сеткой и пентоды. Катоды применяются как прямого (2Э2П, ЭМ-7), так и косвенного накала (ЭМ-5, ЭМ-6).

От требования конкретной величины сеточного тока зависят особенности конструкции Л. э. У прямонакальных ламп с $I_c > 5 \cdot 10^{-14} a$ или подогревных с $I_c > 5 \cdot 10^{-13} a$ требуемое сопротивление изоляции обеспечивается применением простых изоляторов из алундированной слюды со спец. вырезами, при максимальном разнесении электродов. У прямонакальных ламп с $I_c < 5 \cdot 10^{-14} a$ или подогревных с $I_c < 5 \cdot 10^{-13} a$ управляющая сетка крепится в отдельном изоляторе, допускающем принудит. заданию потенциала, определяющего ток проводимости, и защищенном др. изолятором от запыления активным веществом катода. Для ламп с $I_c > 5 \cdot 10^{-14} a$ вывод сетки можно делать в ножку лампы вместе с др. электродами. При меньших токах вывод сетки делается в противоположную сторону вывода др. электродов (купол колбы). Большое значение имеет также расположение поглотителя, к-рое должно исключать попадание его на изоляторы. Для обеспечения низкой темп-ры катода в Л. э. применяются спец. оксидные катоды. Во многих типах Л. э. между катодом и управляющей сеткой расположена дополнит., т. н. защитная, или катодная, сетка. Она поддерживается при положит. потенциале порядка неск. $в$ и позволяет увеличить крутизну анодной хар-ки S при достаточно малом анодном напряжении, а также уменьшить величину ионного тока сетки.

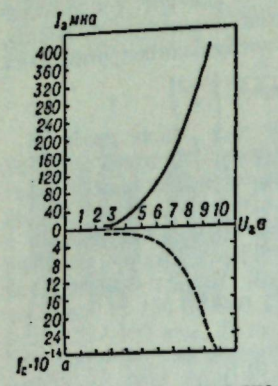


Рис. 2. Зависимость тока анода (сплошная линия) и тока управляющей сетки (пунктирная линия) от напряжения анода у лампы ЭМ-7.

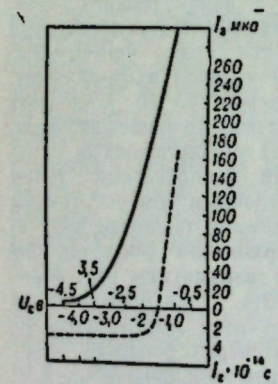


Рис. 3. Зависимость тока анода (сплошная линия) и тока управляющей сетки (пунктирная линия) от напряжения управляющей сетки у лампы ЭМ-7.

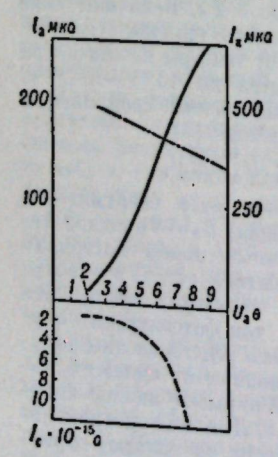


Рис. 4. Зависимость тока анода (сплошная линия), катодной (штрих-пунктирная линия) и управляющей (пунктирная линия) сеток от анодного напряжения у лампы ЭМ-5.

Типовые хар-ки электрометрич. ламп ЭМ-5 и ЭМ-7 приведены на рис. 2—5. Развитие Л. э. идет в направлении дальнейшего использования возможностей совр. классич. конструкций и создания принципиально новых, с оптич. экранировкой управляющего электрода, с использованием электростатич. или магнитного отклонения потока электронов и т. п.

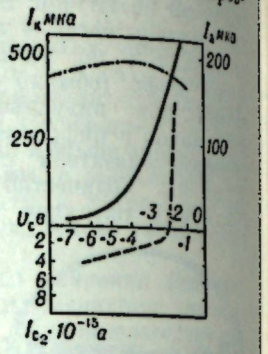


Рис. 5. Зависимость тока анода (сплошная линия), катодной (штрих-пунктирная линия) и управляющей (пунктирная линия) сеток от напряжения управляющей сетки у лампы ЭМ-5.

Лит.: 1) Кауфман М. С. и Яникин Г. М., Электронные приборы, 2 изд., М.— Л., 1960; 2) Шинтльмейстер И., Электронная лампа как прибор для физических измерений, пер. с нем., М.— Л., 1949; 3) Зарудкий Ю. Ф., Сеточные токи, расчет и конструирование электрометрических ламп, в кн.: Сборник материалов по вакуумной технике, вып. 22, М.— Л., 1960; 4) Бонч-Бруевич А. М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, 4 изд., М., 1956; 5) Тягунов Г. А., Электровакуумные и полупроводниковые приборы, М.—Л., 1962; 6) Грибанов Ю. И., Измерения слабых токов, зарядов и высокоомных сопротивлений, М.—Л., 1962. *Н. К. Дадерко.*

ЛАМПА ЭЛЕКТРОННАЯ КОМБИНИРОВАННАЯ (combined tube; lampe multiple; kombinierte Röhre) — электронная лампа, содержащая две или более системы электродов с независимыми потоками электронов. Л. э. к. является сочетанием двух или неск. простых ламп в одном баллоне, причем нек-рые электроды (напр., катод) у них могут быть общими. Назв. Л. э. к. составляется из наименований простых приборов, входящих в нее, напр.: двойной диод, тройной диод, двойной триод, двойной тетрод, двойной лучевой тетрод, двойной пентод, двойной лучевой пентод, диод-триод, двойной диод-тетрод, диод-тетрод, двойной диод-пентод, триод-тетрод, триод-пентод, триод-гексод, диод-триод-пентод и др. (в этих сочетаниях иногда вместо слова «двойной» говорят «дубль»). Цель комбинирования — уменьшение габаритных размеров лампы и аппаратуры, устранение лишних соединит. проводов, вызывающих паразитные электрич. связи, упрощение монтажа и удешевление аппаратуры, более широкое использование идентичных деталей в сдвоенных лампах. Особым видом Л. э. к. является каскадная лампа, представляющая собой один или неск. каскадов (ступеней) радиоприемного или усилит. устройства, помещенных в откачанный баллон. Л. э. к. являются, в основном, маломощными и малогабаритными лампами (см. *Лампа приемно-усилительная*). Они применяются в радиоприемной, усилит., измерит. аппаратуре, в устройствах проводной связи, автоматики, телемеханики, в счетных машинах, модулирующих устройствах и др. Обычно комбинированная лампа одновременно выполняет две или более ф-ций, напр. детектирование и усиление, детектирование, усиление и автоматич. регулировку усиления. Значительно реже используются мощные усилительные и генераторные Л. э. к. Последние иногда выполняют с двумя анодами, двумя управляющими сетками и общей экранирующей сеткой (для 2-тактных схем).

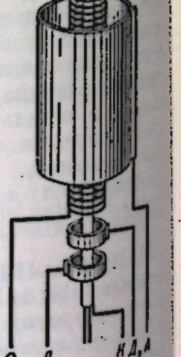


Рис. 1.

На рис. 1 показана схема конструкции двойного диода-триода с катодом косв. накала. Под триодной частью лампы вокруг нижней части катода $К$ помещены два небольших кольцевых анода $Д_1$ и $Д_2$. Для уменьшения электрич. емкости между сеткой лампы и анодами диодов часто применяется электрич. экран, отделяющий диодную часть лампы (на рис. не показан). Условное обозначение двойного диода-триода показано на рис. 2, а двойного триода — на рис. 3.

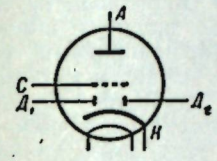


Рис. 2.

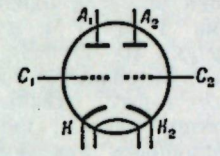


Рис. 3.

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960; Сифоров В. И., Радиоприемные устройства, 5 изд., М., 1954; Электровакуумные приборы. Справочник, М.— Л., 1956. *А. Г. Александров.*

ЛАМПА ЭЛЕКТРОННОВОЛНОВАЯ (electron-wave tube; tube à ondes électroniques; Wellenröhre) — электровакуумная лампа с концентрированным электронным потоком в форме луча или пучка лучей. В Л. э. используется взаимодействие волн пространств. заряда двух или большего числа параллельных потоков электронов, имеющих различные скорости. Л. э. следует отличать от др. видов электронных ламп с концентрированным электронным потоком, напр. от *ламп бегущей волны* (ЛБВ), *ламп обратной волны*.

Один из видов Л. э. — двухлучевая лампа (рис.), имеет два катода, ускоряющие электроды, коллектор (анод), спирали на входе и выходе усилителя, пролетную трубку, фокусирующий соленоид, электронные лучи. Катоды с дополнит. устройствами (не показанными на схеме) образуют два электронных прожектора, назначением к-рых является создание двух параллельных электронных лучей, направленных к положительно заряженному коллектору, находящемуся под разными потенциалами относительно катодов, вследствие чего электроны в этих лучах имеют разные скорости. Для фокусировки электронных потоков служит фокусирующий соленоид, создающий магнитное поле. Входное устройство, через к-рое подаются усиливаемые электромагнитные (ЭМ) колебания, выполнено в виде небольшого отрезка замедляющей системы. ВЧ сигнал, подаваемый на вход, в этой замедляющей системе имеет фазовую скорость, близкую к скорости электронов более медленного луча, вследствие чего при прохождении лучами замедляющей системы ВЧ поле сильнее взаимодействует с медленным лучом. В пролетной трубке, расположенной за входным устройством, электроны более медленного луча группируются и создается ЭМ поле с периодич. структурой, движущейся со средней скоростью медленного луча. Электроны более быстрого луча, взаимодействуя с периодич. полем более медленного луча (аналогично взаимодействию электронного луча с полем спирали в ЛБВ), замедляются, отдавая энергию ВЧ полю. Поле, связанное с более медленным устройством, наводит сигнал на выходном устройстве, расположенном после пролетной трубки. Электроны, прошедшие выходное устройство, попадают на коллектор (анод). Пролетная трубка находится под небольшим дополнит. пост. потенциалом относительно коллектора, что необходимо для компенсации провисания потенциала вдоль оси за счет пост. составляющей электронного пространств. заряда. Достоинством Л. э. является возможность получения большого коэфф. усиления за счет взаимодействия электронных лучей на значит. протяжении. Основным параметром Л. э., характеризующим ее использование, является:

$$x = \frac{\omega (v_{02} - v_{01})}{\omega_0 (v_{02} + v_{01})},$$

где v_{01} и v_{02} — средние скорости электронных потоков, ω, ω_0 — частоты сигналов;

$$\omega_0^2 = \frac{eQ}{m\varepsilon_0},$$

где e, m — заряд и масса электрона; Q — плотность электронного пространств. заряда в лучах; ε_0 — диэлектрич. проницаемость. При $0 < x < \sqrt{2}$ коэфф. усиления Л. э. отличен от нуля.

Увеличение ω_0 ограничивается максимально достигаемой плотности пространств. заряда Q, а уменьшение — разностью $v_{02} - v_{01}$, т. е. величиной, при к-рой начинают сказываться флуктуации скоростей электронов в лучах.

Л. э. обычно используется для усиления ЭМ колебаний сантиметрового диапазона волн.

Лит.: Тягунов Г. А., Электровакуумные и полупроводниковые приборы, М.— Л., 1962; Кукарин С. В., Современное состояние и тенденции развития приборов СВЧ, М., 1962. *А. Г. Александров.*

ЛАМПОВЫЙ ВОЛЬТМЕТР (electron tube voltmeter; voltmètre à lampes; Röhrenvoltmeter) — вольтметр, в схему к-рого в качестве основного элемента входит электронная лампа, работающая в режиме детектирования и преобразующая измеряемое напряжение в пост. ток, величина к-рого измеряется магнитоэлектрич. прибором. Л. в. позволяет измерять пост. и перем. напряжения в широком диапазоне частот — от пром. (50 *гц*) до ~1500 *Мгц*, имеет большое входное сопротивление, малую входную емкость и высокую чувствительность. В пром. образцах Л. в. используются 2 основные схемы. В 1-й (рис. 1, *а*) измеряемое напряжение подается на вход пикового диодного детектора, с выхода к-рого выпрямленное напряжение

поступает на усилитель пост. тока (УПТ) и затем измеряется магнитоэлектрич. прибором. Макс. чувствительность такого Л. в. ок. 0,5 *в*; он измеряет амплитудное значение подводимого напряжения, но шкала прибора градуируется в эффективных значениях синусоид. напряжения. Во 2-й схеме (рис. 1,*б*) измеряемое перем. напряжение вначале усиливается широкополосным усилителем со стабильным коэфф. усиления, а затем подается на одно- или двухполупериодный выпрямитель. Выпрямленное напряжение или ток в нагрузке выпрямителя измеряются магнитоэлектрич. прибором. Л. в. этого типа имеют значительно более высокую чувствительность и позволяют измерять напряжения до долей *мв*, но диапазон частот измеряемого напряжения ограничен равномерностью частотной хар-ки усилителя и обычно не превышает 10 *Мгц*.

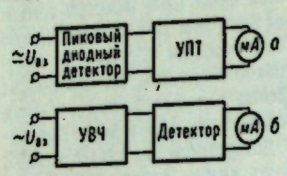


Рис. 1.

На рис. 2 приведена упрощенная принципиальная схема пикового диодного детектора (пикового вольтметра), применяемого в большинстве приборов, построенных по схеме рис. 1. Входное сопротивление такого Л. в. примерно равно $R_{вх} \cong R/3$. В реальных схемах сопротивление R составляет неск. десятков *Ом*, что и обеспечивает высокое входное сопротивление прибора. Схема имеет т. н. закрытый вход — цепь пост. составляющей измеряемого напряжения отделена от цепи диода конденсатором. Л. в. с закрытым входом можно измерять перем. напряжения и перем. составляющие пульсирующих напряжений. При измерении пульсирующих напряжений в зависимости от полярности пост. составляющей показания Л. в. пропорциональны амплитуде положит. или отрицат. полуволн. Шкалы большинства Л. в. этой схемы градуируются в эффективных значениях синусоидального напряжения, поэтому при измерении несинусоидальных напряжений могут получиться значительные ошибки. Кроме диодного детектора, в схемах Л. в. используются анодные и сеточные детекторы. Усилитель постоянного тока в большинстве Л. в. представляет собой мостовую ламповую схему. Перед измерением схема балансируется изменением напряжения смещения на участке сетка — катод одной из ламп, включенных в плечи моста. По достижении баланса стрелка гальванометра, включ. в диагональ, устанавливается на нуль. При подаче изменяемого пост. напряжения на вход схемы потенциал сетки одной из ламп повышается, увеличивается ее анодный ток — мост разбалансируется. Так как лампы работают на линейных участках анодно-сеточных хар-к, то напряжение, возникающее в диагонали мостовой схемы при разбалансе, пропорционально входному напряжению, и гальванометр может быть отградуирован в вольтах входного напряжения. Применение мостовых схем в Л. в. позволяет использовать их для измерения пост. напряжений в различных участках радиотехнич. схем, т. к. мостовые ламповые схемы обеспечивают большое входное сопротивление (до 26 *Мом*).

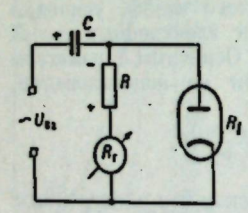


Рис. 2.

Высокочувствит. Л. в. (милливольтметры) строятся по схеме рис. 1,*б*. На входе такого Л. в. имеется делитель напряжения, позволяющий изменять пределы измерения. Входным каскадом является катодный повторитель, имеющий на средних частотах рабочего диапазона большое входное сопротивление (порядка 1 *Мом*) и малую входную емкость (порядка 10—25 *пф*). Широкополосный усилитель содержит от 3 до 6 каскадов усиления, часть к-рых охвачена глубокой отрицат. обратной связью, для обеспечения высокой стабильности усиления. Для выравнивания частотной хар-ки и расширения частотного диапазона часть каскадов усилителя имеет частотную коррекцию как верхних, так и нижних частот. С выхода усилителя усиленное напряжение подается на диодный детектор, в цепь нагрузки к-рого включен гальванометр, проградуированный в значениях измеряемого напряжения.

Для измерения напряжений несинусоидальной формы шкала Л. в. любой схемы может быть проградуирована в амплитудных значениях напряжений данной формы, напр. в амплитудах импульсов, если измеряется импульсное напряжение прямоугольной формы. Однако эта градуировка будет справедлива для относительно узкого диапазона изменения длительностей и частот повторения импульсов. Поэтому к Л. в., измеряющим импульсные напряжения, прилагаются графики, учитывающие ошибки, возникающие при изменении скважности импульсов.

Основными источниками погрешностей Л. в. являются: погрешности магнитоэлектрич. прибора и нестабильность источника питания; емкость и индуктивность подводящих проводов и монтажа входной цепи Л. в., междуэлектродные емкости входной лампы и др.; электрич. потери во входных цепях. Последние источники погрешностей частотно зависимы; с увеличением частоты погрешности увеличиваются. Общая погрешность Л. в. обычно не превышает 10%.

Лит.: Ремез Г. А., Курс основных радиотехнических измерений, М., 1955; Коридорф С. С., Бернштейн А. С., Ярославский М. И., Радиотехнические измерения, 2 изд., М.—Л., 1958; Валитов Р. А. и Сретенский В. Н., Радиоизмерения на сверхвысоких частотах, 2 изд., М., 1958.

Р. В. Фельдман

ЛИНГВИСТИКА МАТЕМАТИЧЕСКАЯ (mathematical linguistics; linguistique mathématique; mathematische Linguistik) — научная дисциплина, применяющая математические методы для исследования языка и использующая ЭВМ для моделирования языка и тех операций, к-рые человек осуществляет над языком.

Модели порождающих грамматик. Под порождающей грамматикой G языка L понимается такой набор правил, к-рый порождает грамматически правильно построенные предложения в L и только такие предложения. Простейшим примером является грамматика с конечным числом состояний. Эту грамматику можно описать как *конечный автомат*, к-рый, находясь в нек-ром состоянии $S_i \in \{S_0, S_1, \ldots, S_n\}$, печатает на ленте слово $W_j \in \{W_0, W_1, \ldots, W_m\}$, после чего переходит в нек-рое др. состояние, снова печатает соответствующее слово и т. п. Грамматика с конечным числом состояний определяется конечным множеством внутр. состояний $\{S_0, \ldots, S_n\}$ и конечным множеством символов $\{W_0, \ldots, W_m\}$, входящих в словарь данной грамматики. Каждая упорядоченная пара (j, k) $0 \leqslant j \leqslant m$, $0 \leqslant k \leqslant n$ определяет граммат. правило. Если грамматич. правило (j, k) сопоставлено состоянию S_i, это означает, что, когда грамматика находится в состоянии S_i, порождается слово W_j, после чего грамматика переходит в состояние S_k. Грамматика с конечным числом состояний, где определены вероятности перехода к каждому следующему состоянию, может рассматриваться как модель, представляющая источник предложений в виде конечного марковского процесса. Сходная модель в работах по теории информации оказалась весьма удобной для описания передачи речевых сообщений на уровне миним. различит. элементов, фонем и букв. Однако описание процесса порождения предложений из слов с помощью такой грамматики оказывается неудобным, а для всего множества возможных предложений естеств. языка (напр., русского или английского) такая грамматика не является адекватной. К интуитивным представлениям о грамматике, к-рые отразились, напр., в школьных способах разбора предложений, более близко др. лингвистич. исчисление, где каждое правило имеет вид подстановки «замени φ на ψ» (записывается: $\varphi \to \psi$). В такой грамматике цепочка символов σ′ следует из σ, если $\sigma = \ldots\varphi\ldots$ и $\sigma' = \ldots\psi\ldots$ (т. е., если σ′ получено путем подстановки ψ вместо нек-рого вхождения φ в σ). Последовательность цепочек $\sigma_1, \ldots, \sigma_n$ наз. φ-выводом, если $\varphi = \sigma_1$ и для каждого i σ_{i+1} следует из σ_i. Вывод является законченным, если его последняя цепочка не содержит ни одной такой подцепочки χ, что $\chi \to \omega$ является граммат. правилом. Пусть каждое правило подстановки $\varphi \to \psi$ удовлетворяет дополнит. условию, по к-рому имеется единств. символ A и непустая цепочка ω такая, что $\varphi = \chi_1 A \chi_2$ и $\psi = \chi_1 \omega \chi_2$. Тогда A может быть переписано посредством ω (т. е. ω принадлежит к типу A), если A находится в контексте $\chi_1 — \chi_2$ (где χ_1 или χ_2 могут быть пустыми). Множество правил, удовлетворяющих этому условию, наз. грамматикой непосредств. составляющих. Если в каждом правиле $\varphi \to \psi$ φ является единичным символом, грамматика (и каждое ее правило) свободна от контекстных ограничений; в противном случае грамматика наз. контекстно ограниченной. Если ψ является шагом в φ-выводе (т. е. если имеется вывод $\sigma_1, \ldots, \sigma_n$ такой, что $\sigma_1 = \varphi$ и $\sigma_n = \psi$), то φ доминирует над ψ (записывается: $\varphi \Rightarrow \psi$). Если имеются такие непустые φ, ψ, что $A \Rightarrow \varphi A \psi$, то A наз. включающим себя самого. Можно показать, что верхняя граница числа возможных вхождений включающего самого себя символа A в некоем поддереве такого дерева, к-рое представляет грамматику непосредств. составляющих, определяется объемом памяти конечного автомата, с помощью к-рого по правилам этой грамматики порождаются предложения. Если предположить, что предложения порождаются автоматом всегда т. о., что символ, находящийся выше на дереве порождения, переписывается в символы, над к-рыми он доминирует, то можно обнаружить дополнит. ограничения, наложенные на возможную структуру предложений объемом оперативной памяти автомата.

Для задач *машинного перевода* и для автоматизации синтаксич. исследования языка удобным оказывается такое представление дерева предложения, к-рое дается грамматикой зависимостей, где для каждого слова в предложении (кроме одного — абс. главного) указывается одно и только одно слово, от к-рого зависит данное.

Для грамматики зависимостей существенно условие проективности (конфигурационности), формулирующееся следующим образом. Пусть для нек-рых вхождений $a_1, b_2, \ldots, c_n$ в цепочку S определено дерево зависимостей, где отношение $a_i \to b_j \to \ldots c_k$ (читается: «b_j зависит от a_i» и т. п.) записывается как $a_i \Rightarrow c_k$ (c_k подчинено a_i). Тогда условие проективности сводится к тому, что для любой четверки натур. чисел i, j, k, l, если $i < k < j$, $d_l \Rightarrow a_i$ и $d_l \Rightarrow b_j$, то $d_l \Rightarrow c_k$.

Анализирующие грамматические модели. Если синтаксис языка описан как исчисление и каждое предложение может быть представлено как вывод в разрешимом исчислении, то для каждой модели грамматики, порождающей предложения языка, может быть построена эквивалентная модель грамматики распознавания, анализирующая те же самые предложения, т. е. восстанавливающая дерево данного предложения по самому предложению. Для грамматики с конечным числом состояний эквивалентной моделью анализа является автомат с конечным числом состояний, к-рый последовательно читает слова на ленте. При этом каждому слову W_j сопоставлено одно или несколько состояний $S_1, S_2, \ldots, S_n$ автомата и одно или несколько состояний $S_k, S_t, \ldots, S_n$, в к-рые переходит автомат, прочитав слово.

Модели порождения предложений в грамматике непосредств. составляющих соответствует анализирующая модель категориальной грамматики, разработанная первоначально на основе нек-рых логич. языков. В этой модели каждому слову в словаре приписывается категория, причем они подбираются т. о., чтобы можно было осуществить анализ предложения на основе правил вида $[\alpha/\beta, \beta] \to \alpha$, $\alpha[\alpha \backslash \beta] \to \beta$. Символ, к к-рому должно свестись любое грамматически правильно построенное предложение в такой категориальной грамматике, соответствует символу, находящемуся в вершине дерева предложения, согласно эквивалентной порождающей грамматике. Указанная запись (вида α/β, $\alpha \backslash \beta$) используется для решения нек-рых логич. задач, связанных с лингвистич. исчислениями. Для собственно лингвистич. целей, однако, более удобно описание каждого слова в терминах классов эквивалентных форм, устанавливающихся благодаря описанию возможных замен одной формы на др. Пусть с помощью нек-рой порождающей грамматики G получено множество грамматически правильно построенных предложений в языке L. Тогда эквивалентными признаются такие формы слов a_i и b_j, что постановка a_i вместо b_j (и обратно: b_j вместо a_i) в нек-рой последовательности S оставляет эту последовательность грамматически правильно построенным (соответственно: грамматически неправильно построенным) предложением, т. е. для любых A и B предложения

вида Aa_iB и Ab_jB являются одновременно правильными или одновременно неправильными. Т. о., удается точно определить такие понятия, как часть речи.

Сравнение естественных языков с логическими. Одним из существ. средств описания естеств. языков, служащих объектом изучения в Л. м., является их сравнение с искусств. языками математич. логики. Это представляет интерес и для решения практич. задач построения новых искусств. языков для машин и для составления правил машинного перевода с искусств. языков на естественные и обратно. При сравнении естеств. языка с языком исчисления предикатов в естеств. языке обнаруживаются слова, соответствующие логич. кванторам (в рус. языке есть, всякий), бинарным связкам и скобкам (союзы), логич. сингулярной связке (в русском языке не). Логическим переменным соответствуют в естеств. языке многие существительные, логич. предикатам — глаголы (к-рые для целей машинного перевода на естественные и информационно-логич. языки целесообразно рассматривать как k-местные предикаты) и отчасти прилагательные. Но при этом существ. отличием логич. языков от естественных является наличие в этих последних категории определения. Поэтому для целей автоматич. перевода с естеств. языка на логический оказывается целесообразным построить такой промежуточный язык, в к-ром имелось бы соответствие определению в виде особого средства ограничения допустимой области значения переменной.

Количественное описание языка. Для дешифровки неизвестного языка (в частности, для определения характера неизвестной письменности) и для решения ряда др. лингвистич. задач существенно наличие нек-рых простых количеств. соотношений (языковых констант), характеризующих, по-видимому, любой язык. К числу таких соотношений относится различие между числом единиц разных уровней языка — числом слов (от 10^4 до 10^5), числом морфем (от 10^3 до 10^4), слогов (от 10^2 до 10^4), фонем в устном языке и соответственно букв в алфавитном письм. языке (от 10 до 10^2; практически всегда меньше 80), а также соотношения, связывающие между собой единицы разных уровней — слоги и слова, фонемы и морфемы и т. п. Число слогов в слове в различных языках мира соответствует распределению $p_i=\frac{e^{-(\bar{i}-1)}(\bar{i}-1)^{i-1}}{(i-1)!}$, где i — число слогов в слове, $\bar{i}$ — ср. число слогов в слове ($\bar{i}>1$), p_i — доля i-сложных слов. Число фонем в языке находится в обратном отношении к ср. числу фонем в морфеме (что легко объясняется соображениями экономного кодирования). Для словарной статистики (имеющей приложения в практике составления словарей для машинного перевода, преподавания и др.) существенна зависимость Ципфа, по к-рой ранг слова r (номер в списке слов, упорядоченных по убыванию их частот) связан с вероятностью слова p_r соотношением $p_r=kr^{-\gamma}$, где k и γ — константы, вычисляемые на основе эксперимента. Нек-рые оси. количеств. хар-ки, оказывающиеся сходными у разных языков мира, могут быть определены благодаря теоретико-информац. исследованию языка, связанному с решением практич. задач передачи речевых сообщений. В разных письм. языках мира (русском, английском, самоанском и др.) примерно сходным оказывается количество информации, приходящейся на одну букву [H_1=4,35 двоичных единиц информации (битов) в рус. языке, H_1=4,03 в английском и т. п.] или же на одну элементарную черту иероглифа (H_1=3,79 в кит. языке), где H_1 подсчитывается по ф-ле:

$$H=-\sum_{i=1}^{n} p(i)\log p(i);$$

приблизительно сходной оказывается избыточность $R=1-\frac{H\infty}{H_0}$ в различных европ. языках (порядка 60—70%).

Теоретико-информац. хар-ки языка могут быть связаны с полученными в эксперимент. психологии данными о количестве информации, перерабатываемой за единицу времени человеком. Так, то обстоятельство, что по данным эксперимент. психологии человек может передавать не более 25 двоичных единиц информации в сек., соответствует лингвистич. данным, по к-рым посредством последовательностей фонем устной речи передается не более 5 двоичных единиц в сек. Несоответствие между этой хар-кой устного языка и пропускной способностью совр. технич. средств связи, заключенной между 10^3 и 10^5 двоичных единиц в сек., вызывает практич. необходимость компрессии речи, т. е. более экономного ее кодирования (что предполагается осуществить с помощью автоматич. анализа и синтеза устной речи).

Использование идей теории информации позволило по-новому подойти к исследованию поэтич. языка, где, согласно исследованиям А. Н. Колмогорова, оказывается возможным вычислить величину энтропии, затрачиваемой на отдельные выразит. стороны стиха (ритм, рифму и т. п.), и благодаря этому установить, что энтропия языка H складывается из двух хар-к: h_1 — информац. емкости языка, т. е. количества разных мыслей, к-рые могут быть изложены в тексте данной длины, и h_2 — гибкости языка, т. е. меры равноценных способов изложения одного и того же содержания средствами данного языка: $H=h_1+h_2$. Если коэфф. β, характеризующий формальные ограничения, налагаемые стихотворной формой, больше гибкости языка ($\beta>h_2$), то выражение заданной мысли в данной форме невозможно, т. о., неравенство $h_2>\beta$ оказывается необходимым условием поэтич. творчества. На основании исследования энтропии поэтич. языка удается показать чисто количеств. трудности, являющиеся принцип. препятствием для автоматизации поэтич. творчества.

Исследование языка статистич. методами оказывается важным не только для описания совр. языков, но и для изучения их истории, в частности для определения меры родства языков. В глоттохронологии предложен лексикостатистич. метод определения минимального времени ($\min t$) разделения родственных языков, вычисляемого по ф-ле $\min t=\frac{\log c}{2\log r}$, где C — процент родств. слов, найденный при сравнении списков осн. словарных элементов данных языков, r — константа, характеризующая степень сохранения осн. словарных элементов в нек-ром заданном множестве слов за единицу времени ($r\approx 85{,}4\%$ за 1 тысячелетие, согласно эмпирическим данным, достоверность к-рых подвергается сомнению рядом лингвистов). При определении меры родства индонезийских языков для выполнения лексикостатистич. подсчетов в США использовалась ЭВМ.

Лит.: Добрушин Р. Л., Математические методы в лингвистике, «Математическое просвещение», 1961, вып. 6; Ревзин И. И., Модели языка, М., 1962; Хомский Н., Три модели описания языка, в кн.: Кибернетический сборник, вып. 2, М., 1961; Хомский Н., Миллер Д., Языки с конечным числом состояний, в кн.: Кибернетический сборник, вып. 4, М., 1962; Хомский Н., О некоторых формальных свойствах грамматик, в кн.: Кибернетический сборник, вып. 5, М., 1962; Reichenbach H., Elements of symbolic logic, N. Y., 1947; Structure of language and its mathematical aspects, «Proc. Sympos. Appl. Math.», 1961, v. 12.

В. В. Иванов.

ЛИНЕАРИЗАЦИИ ДИАПАЗОН (linearization range; etendue de linéarisation; Linearisierungsbereich) — область определения множества значений хар-к объекта или системы автоматич. управления, в пределах к-рой их можно с достаточной точностью считать линейными ф-циями.

Реальные объекты и системы являются нелинейными, и их линеаризация возможна только в том случае, если пренебрегают свойствами, к-рые оказываются несущественными для данной системы.

Л. д. всегда ограничен нек-рыми пределами, зависящими от свойств системы и от характера решаемой задачи.

А. И. Тейман.

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ (linearization; linéarisation; Linearisierung) — приближенный анализ нелинейных САР, при к-ром вместо нелинейной системы исследуется ее линейная модель, в нек-ром смысле эквивалентная исходной нелинейной системе. Методы Л. отличаются в основном по тому, какой смысл вкладывается в понятие эквивалентности нелинейной и линеаризированной систем (см. *Линеаризация методом малых отклонений*, *Линеаризация гармоническая*, *Линеаризация вибрационная*, *Линеаризация статистическая*, *Линеаризация принудительная*).

Э. Л. Наппельбаум.

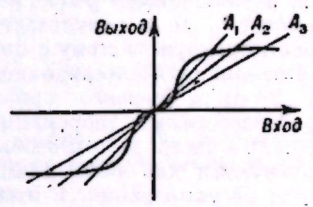
ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ВИБРАЦИОННАЯ (scanning linearization; linéarisation par balayage; Vibrationslinearisierung) — линеаризация релейных систем с помощью колебаний малой амплитуды, спектр частот к-рых значительно выше спектра собств. частот системы, *управляющих воздействий* и *возмущающих воздействий*. Л. в. приводит к тому, что реакция релейных систем на внешние воздействия оказывается близкой к реакции линейных систем. Точно так же переходные процессы при огранич. начальных отклонениях оказываются близкими к переходным процессам в линейных системах. Релейные системы, обладающие такими свойствами, наз. квазилинейными.

В качестве ВЧ колебаний, с помощью к-рых осуществляется Л. в., могут использоваться вынужденные колебания, дополнительно подаваемые в систему, или автоколебания. Первая наз. *линеаризацией принудительной*. Л. в. с помощью автоколебаний связана с введением внутр. колебат. контура, который создается обычно путем охватывания релейного элемента запаздывающей обратной связью или с введением в систему последоват. или паралл. корректирующих устройств. Параметры запаздывающей обратной связи и корректирующих устройств выбираются такими, чтобы амплитуда автоколебаний, существующих в системе без внешних воздействий, уменьшалась до величины, меньше допустимой для данной системы. В этом случае обычно считают, что автоколебания в системе подавлены. Физ. картина линеаризации релейных систем с помощью автоколебаний аналогична линеаризации принудительной. Действительно, в этом случае на медленно изменяющийся входной сигнал реле также накладываются ВЧ колебания, но они не создаются независимым генератором, а возникают за счет внутр. свойств самой системы (автоколебания). Особенностью систем с Л. в. при помощи автоколебаний является то, что частота колебаний изменяется при изменении величины входного сигнала. При Л. в., возникающей вследствие введения корректирующих устройств, переходный процесс протекает в скользящем режиме.

Лит.: Цыпкин Я. З., Теория релейных систем автоматического регулирования, М., 1955.

В. Ю. Рутковский.

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ГАРМОНИЧЕСКАЯ (harmonic linearization; linéarisation harmonique; harmonische Linearisierung) — приближенная замена нелинейного элемента линейным, установившаяся реакция к-рого на гармонич. воздействие совпадает с первой гармоникой реакции на то же воздействие исходного нелинейного элемента. Параметры линейного элемента, эквивалентного рассматриваемому нелинейному элементу, зависят от амплитуды входного гармонического воздействия, что соответствует замене хар-ки нелинейного элемента пучком прямых (рис.), каждой из к-рых отвечает определ. значение амплитуды (A_1, A_2, A_3). Эквивалентный линейный элемент принято описывать линейными ур-ниями (алгебраич. или дифференциальными) либо эквивалентным коэфф. усиления [см. *Адмитанц. (импеданц) эквивалентный*]. Л. г. составляет основное содержание принципа *гармонического баланса*. Используется Л. г. при исследовании движений в нелинейных системах, близких к гармоническим (см. *Гармонического баланса метод*).



М. М. Симхи.

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ МЕТОДОМ МАЛЫХ ОТКЛОНЕНИЙ (small-deflection method linearization; linéarisation par la méthode des petites déflection; Linearisierung durch die Methode der kleinen Schwingungen) — линеаризация нелинейных ур-ний САР, основанная на предположении, что в исследуемом динамич. процессе переменные изменяются так, что их отклонения от нек-рого установившегося режима остаются достаточно малыми. Л. м. м. о. производится с помощью разложения нелинейных ф-ций многих переменных в ряды Тейлора по степеням малых отклонений этих переменных, взятых в окрестности их значений, соответствующих установившемуся режиму.

Пусть САР описывается системой нелинейных ур-ний:

$$\frac{dy_k}{dt}=Y_k(y_1, y_2, \ldots, y_n),\ k=1, 2, \ldots, n.$$

В большинстве случаев нелинейные ф-ции $Y_k(y_1, y_2, \ldots, y_n)$ допускают разложение в ряды

Тейлора, сходящиеся в нек-рой H-окрестности установившегося режима $y_{k0}=\text{const}$.

Полагая $y_k=y_{k0}+\Delta y_k$, где Δy_k — малые отклонения, ур-ния САР можно записать в виде:

$$\frac{d\Delta y_k}{dt}=Y_k(y_{10}, y_{20}, \ldots, y_{n0})+\left.\frac{\partial Y_k}{\partial y_1}\right|_0\Delta y_1+$$
$$+\left.\frac{\partial Y_k}{\partial y_2}\right|_0\Delta y_2+\ldots+\left.\frac{\partial Y_k}{\partial y_n}\right|_0\Delta y_n+$$
$$+F_k(y_1, y_2, \ldots, y_n),$$

где $\left.\frac{\partial Y_k}{\partial y_i}\right|_0$, k, $i=1, 2, \ldots, n$ — частные производные, вычисленные в точке установившегося режима, $F_k(y_1, y_2, \ldots, y_n)$ — ф-ции, не содержащие членов ниже второго порядка малости.

Вычитая из этой системы ур-ния установившегося режима $Y_k(y_{10}, y_{20}, \ldots, y_{n0})=0$ и пренебрегая $F_k(y_1, y_2, \ldots, y_n)$, получим линейную систему ур-ний в отклонениях с пост. коэфф. (ур-ния первого приближения):

$$\frac{d\Delta y_k}{dt}=\sum_{i=1}^{n}a_{ki}\Delta y_i,\quad k=1, 2, \ldots, n,$$

где $a_{ki}=\left.\frac{\partial Y_k}{\partial y_i}\right|_0$.

В случае, когда Y_k явно зависят от времени, $y_{k0}\neq\text{const}$, то в результате Л. м. м. о. получаем линейную систему с перем. коэфф.

Возможность исследования устойчивости по ур-ниям первого приближения обоснована известными теоремами А. М. Ляпунова. Однако часто линеаризованные ур-ния используются для исследования качества процесса регулирования. В этом случае отклонения переменных Δy_k не всегда могут быть малыми. Для оценки погрешности проводят анализ ф-ций F_k, к-рые удобно брать в форме Лагранжа для остаточного члена ряда Тейлора.

Лит.: Попов Е. П., Динамика систем автоматического регулирования, М., 1954; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

В. Ю. Рутковский.

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ПРИНУДИТЕЛЬНАЯ, вынужденными колебаниями (forced linearization; linéarisation forcée; erzwungene Linearisierung) — линеаризация релейных элементов с помощью дополнит. периодич. воздействия, частота к-рого в неск. раз превышает собств. частоту системы (частоту автоколебаний). Л. п. является одним из видов *линеаризации вибрационной*. В результате Л. п. средняя за период выходная величина релейного элемента $\bar{y}(t)$ в нек-рых пределах зависит прибл. линейно от входной величины $\bar{x}(t)$. Рассмотрим, напр., устройство с идеальной релейной хар-кой $y=F(x)$ (рис. 1). Если на вход его дополнительно подаются ВЧ колебания треугольной формы (рис. 2), то при отсутствии управляющего сигнала средняя составляющая на выходе $\bar{y}=0$, т. к. $T_1=T_2$. При наличии во входном сигнале медленно изменяющегося воздействия $\bar{x}$ (к-рое за период T можно считать постоянным) $T_1\neq T_2$, на выходе имеем среднюю составляющую $\bar{y}$, пропорциональную величине $\zeta=\frac{T_1-T_2}{T_1+T_2}=\frac{T_1-T_2}{T}$. Легко доказать, что ζ пропорциональна $\bar{x}$,

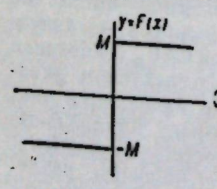


Рис. 1.

или $\bar{y}=k\bar{x}$. Очевидно, такая зависимость сохраняется, пока $|\bar{x}|\leqslant A$.

Вид линеаризованной статич. хар-ки $\bar{y}=f(\bar{x})$ зависит от формы кривой дополнит. периодич. воздействия. Так, в случае Л. п.

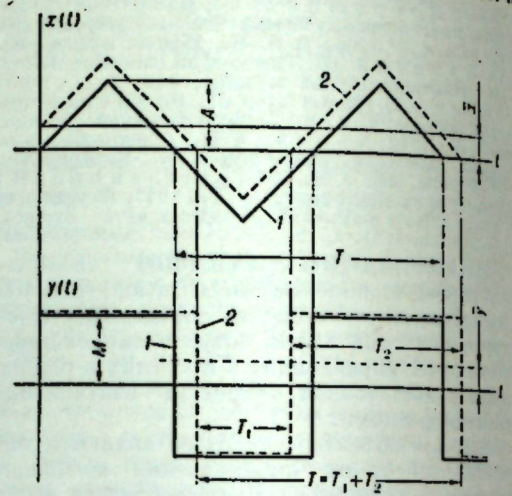


Рис. 2.

идеального реле при треугольной форме кривой дополнит. колебаний, линеаризованная хар-ка описывается ур-нием

$$\bar{y}=\frac{M}{A}\bar{x}\ \text{при}\ |\bar{x}|\leqslant A,$$

$$\bar{y}=M\operatorname{sign}\bar{x}\ \text{при}\ |\bar{x}|>A,$$

где M — макс. величина координаты y, A — амплитуда дополнит. колебаний. При синусоидальной форме колебаний та же хар-ка описывается ур-нием:

$$\bar{y}=M\frac{2}{\pi}\arcsin\frac{\bar{x}}{A}\ \text{при}\ |\bar{x}|\leqslant A,$$

$$\bar{y}=M\operatorname{sign}\bar{x}\ \text{при}\ |\bar{x}|>A.$$

Л. п. обладает гибкостью в смысле возможности изменения в широких пределах частоты и амплитуды дополнит. периодич. воздействий. Изменяя амплитуду, можно изменять коэфф. усиления системы. Если амплитуду сделать зависимой от нек-рой величины, характеризующей состояние системы, то вместе с изменением последней будет изменяться и коэфф. усиления, что может найти широкое применение в самонастраивающихся системах. Л. п. способствует уничтожению сухого трения, застоев (получающихся из-за наличия зазоров и зон нечувствительности), люфтов и т. д. Амплитуда дополнит. колебаний должна превышать половину зазора или зоны нечувствительности. Л. п. пригодна для релейных систем с любым видом хар-к релейных элементов. Расчеты линеаризованных систем производятся обычными методами линейной ТАР.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Цыпкин Я. З., Теория релейных систем автоматического регулирования, М., 1955; Попов Е. П., Динамика систем автоматического регулирования, М., 1954.

В. Ю. Рутковский.

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ РЕЛЕЙНЫХ СИСТЕМ — см. *Линеаризация вибрационная.*

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ СТАТИСТИЧЕСКАЯ (statistical linearization; linéarisation statistique; statistische Linearisierung) — линеаризация динамич. систем, находящихся под воздействием случайных возмущений. Состоит в

аппроксимации произвольного нелинейного преобразования случайной ф-ции статистически эквивалентным в определ. смысле линейным оператором. Применим к анализу непрерывных и дискретных нелинейных систем. Общие положения Л. с. состоят в следующем.

Пусть случайные ф-ции (см. *Вероятностный процесс*) $X(t)$ и $Y(t)$ связаны нелинейным преобразованием наиболее общего вида:

$$Y(t)=\varphi[X(t-\tau), t],\ \text{где}\ \tau\leqslant t.$$

Задача состоит в приближении нелинейного преобразования φ нек-рым линейным преобразованием φ^* так, чтобы случайная ф-ция $Z(t)=\varphi^*[X(t-\tau), t]$ в нек-ром смысле наилучшим образом приближала ф-цию $Y(t)$. Ф-ции $X(t)$, $Y(t)$ и $Z(t)$ представляются в виде

$$X(t)=m_x(t)+X^0(t),\ Y(t)=m_y(t)+Y^0(t),$$
$$Z(t)=m_z(t)+Z^0(t),$$

где $m_x(t)$, $m_y(t)$, $m_z(t)$ — математич. ожидания соответствующих случайных ф-ций, а X^0, Y^0, Z^0 — центрированные случайные ф-ции. Математич. ожидание $m_z(t)$ и случайную составляющую $Z^0(t)$ можно представить в виде:

$$m_z(t)=k_0\int_T w(t, \tau)\,m_x(\tau)\,d\tau,$$

$$Z^0(t)=k_1\int_T w(t, \tau)\,X^0(\tau)\,d\tau,$$

где k_0 и k_1 — статистич. коэфф. усиления, $w(t, \tau)$ — весовая ф-ция линейной системы, реализующей наилучшее приближение, T — область изменения переменных t и τ или интервал наблюдения ф-ции $X(t)$.

Возможны различные критерии статистич. эквивалентности случайных ф-ций. При Л. с. обычно используются два критерия.

1-й состоит в выполнении условия равенства математич. ожиданий и корреляц. ф-ций истинной и аппроксимируемой случайных ф-ций. При применении его для определения k_0, k_1, $w(t, \tau)$ получаются следующие два ур-ния:

$$m_y(t)=k_0(t)\int_T w(t, \tau)\,m_x(\tau)\,d\tau,$$

$$K_y(s, t)=$$
$$=k_1(t)\,k_1(s)\int_T\int_T w(s, t)\,w(t, \tau')K_x(\tau, \tau')\,d\tau\,d\tau',$$

где $K_y(s, t)$ и $K_x(\tau, \tau')$ — корреляц. ф-ции случайных ф-ций Y и X соответственно. Т. к. неизвестных, подлежащих определению, три, а ур-ний два, то одним из них можно распорядиться произвольным образом. Примем, что

$$k_1(t)=\left[\frac{K_y(t, t)}{K_x(t, t)}\right]^{1/2}.$$

Тогда весовая ф-ция определится из 2-го ур-ния, а из 1-го следует, что

$$k_0(t)=\frac{m_y(t)}{\int_T w(t, \tau)\,m_x(\tau)\,d\tau}.$$

2-й критерий, используемый при Л. с., состоит в выполнении условия минимума ср. квадратич. значения разности истинной и аппроксимируемой ф-ций: $M\{[Y(s)-Z(s)]^2\}=\min$ при $s\in T$ (M — символ математич. ожидания). Применение его для определения наилучшего линейного аппроксимирующего оператора приводит к ур-нию:

$$K_{yx}(s, t)=$$
$$=k_1\int_T K_x(\tau, t)\,w(s, \tau)\,d\tau+m_x(t)\,\lambda(s)=0,$$

где $\lambda(s)=m_y(s)-k_0\int_T w(s, \tau)\,m_x(\tau)\,d\tau$. Для трех неизвестных k_0, k_1 и $w(t, \tau)$ имеется в этом случае только одно ур-ние, поэтому выбором двух из них можно распорядиться. k_0 определяют тем же выражением, что и в первом случае и полагают $k_1(t)=\frac{K_{yx}(t, t)}{K_x(t, t)}$. При таком выборе k_0 и k_1 имеет место $\lambda(s)\equiv 0$, и интегр. ур-ние для определения неизвестной весовой ф-ции $w(t, \tau)$ принимает вид:

$$\int_T K_x(\tau, t)\,w(s, \tau)\,d\tau=\frac{1}{k_1(s)}K_{yx}(s, t).$$

Т. о., первонач. нелинейное преобразование сводится к двум различным линейным преобразованиям над регулярной и случайной составляющими случайной ф-ции $X(t)$ (рис. 1):

$$m_y(t)=k_0\int_T m_x(\tau)\,w(t, \tau)\,d\tau,$$

$$Y^0(t)=k_1\int_T X^0(\tau)\,w(t, \tau)\,d\tau.$$

Для вычисления коэфф. k_0, k_1 и решения ур-ний, определяющих весовую ф-цию $w(t, \tau)$, необходимо знать математич. ожидания, корреляционные и взаимную корреляц. ф-ции $X(t)$ и $Y(t)$. Последние зависят от закона распределения случайных ф-ций на входе и выходе нелинейной системы. Часто с достаточной для практики степенью точности его можно считать нормальным, и в этих предположениях вычисления проводятся относительно просто.

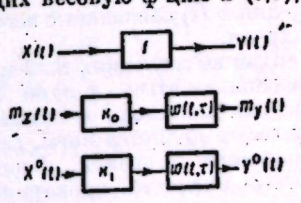


Рис. 1.

Проведение Л. с. на практике в самом общем виде довольно сложно, но обычно имеют место различные частные случаи, при к-рых вычисления существенно упрощаются. Наиболее важные из них следующие.

1. $X(t)$ и $Y(t)$ — стационарные случайные ф-ции, $-\infty<t<T$. Применение 1-го критерия Л. с. приводит к следующему выражению для весовой ф-ции:

$$w(t)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty}\Phi(i\omega)\,e^{i\omega t}\,d\omega,$$

где $|\Phi(i\omega)|^2=\frac{1}{k_1^2}\frac{G_y(\omega)}{G_x(\omega)}$; $G_y(\omega)$ — спектр. плотность $Y(t)$, $G_x(\omega)$ — спектр. плотность $X(t)$. Вычисление $G_y(\omega)$ для нелинейного элемента осуществляется достаточно просто в предположении двумерного норм. закона распределения случайной ф-ции $X(t)$ на входе нелинейного элемента. В общем случае следует воспользоваться ортогон. разложением произвольного закона распределения в ряд на основе нормального распределения.

2. Если дополнительно $X(t)$ и $Y(t)$ стационарно связаны и $m_x(t)=\text{const}$, то применение 2-го критерия Л. с. приводит к следующим выражениям:

$$w(t)=\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{+\infty}\Phi(i\omega)\,e^{i\omega t}\,d\omega,$$

где

$$\Phi(i\omega)=\frac{1}{k_1 2\pi\Psi(i\omega)}\int_0^{+\infty}e^{-i\omega t}dt\int_{-\infty}^{+\infty}\frac{G_{yx}(\omega)}{\Psi^*(i\omega)}e^{i\omega t}\,d\omega;$$

$G_x(\omega)=\Psi(i\omega)\Psi^*(i\omega)$ — спектр. плотность $X(t)$, $G_{yx}(\omega)$ — взаимная спектр. плотность $X(t)$ и $Y(t)$;

$$k_1=\frac{K_{yx}(0)}{K_x(0)},\quad k_0=\frac{m_y}{m_x}\cdot\frac{1}{\int_0^\infty w(\tau)d\tau}.$$

Проведение расчетов по этим ф-лам требует предварит. определения ф-ции $G_{yx}(\omega)$, для чего необходимо знать взаимную корреляц. ф-цию $K_{yx}(t)$. Последняя или вычисляется, если известно совместное распределение $X(t)$ и $Y(t)$, или определяется эксперимент. путем.

3. Нелинейная ф-ция является хар-кой нелинейного стационарного безынерц. элемента, входной сигнал стационарен. Коэфф. k_0 и k_1, вычисленные по 1-му критерию, равны в этом случае $k_0=\frac{m_y}{m_x}\cdot\frac{1}{\Phi(0)}$ и $k_1=\left[\frac{K_y(0)}{K_x(0)}\right]^{\frac{1}{2}}$, а весовая ф-ция $w(t)$ совпадает с весовой ф-цией первого случая.

При вычислениях по 2-му критерию следует воспользоваться ф-лами 2-го случая. Если сигнал на входе в симметричный безынерц. элемент является норм. случайной ф-цией, то взаимная корреляц. ф-ция входа и выхода этого элемента пропорциональна корреляц. ф-ции входа, и эквивалентная линейная операция является также безынерционной и полностью характеризуется двумя коэфф. k_0 и k_1. В общем случае при более грубом приближении хар-ку безынерц. нелинейного элемента можно заменить безынерц. линейным преобразованием с коэфф. усиления (передачи) k_0 и k_1 соответственно по математич. ожиданию и по случайной составляющей. В этом случае $w(t,\tau)=\delta(t-\tau)$ и все ф-лы существенно упрощаются.

4. X и Y являются случайными величинами, $Y=\varphi(X)$. В этом случае 1-й критерий дает значения $k_0=\frac{m_y}{m_x}$ и $k_1=\pm\sqrt{\frac{DY}{DX}}=\pm\frac{\sigma_y}{\sigma_x}$ (D — символ дисперсии), причем у k_1 следует взять тот же знак, к-рый имеет производная ф-ции φ (в практич. задачах обычно φ монотонна). 2-й критерий дает то же значение для k_0, а для k_1 значение

$$k_1=\frac{1}{DX}\,\mathrm{M}[X^0,Y]=\frac{1}{DX}\int_{-\infty}^{+\infty}(x-m_x)\varphi(x)f(x)dx,$$

где $f(x)$ — плотность вероятности случайной величины X. На практике можно брать в качестве k_1 ср. арифметическое его значений, полученных двумя способами Л. с.

Практич. метод определения эквивалентного линейного преобразования состоит в следующем. Вместо произвольной случайной ф-ции используют случайную ф-цию с корреляц. ф-цией, при к-рой вычисления существенно упрощаются. Хотя вид линейного преобразования зависит, вообще говоря, от вида нелинейности и вероятностных хар-к входного сигнала, но из физич. соображений следует, что оно слабо зависит от корреляц. ф-ции входа. Обычно используются корреляц. ф-ции типа δ-ф-ции, напр. стационарный белый шум с корреляц. ф-цией

$$K(t,\tau)=2\pi G_0\delta(t-\tau)=\sigma^2\delta(t-\tau),$$

где G_0 — спектр. плотность, $\sigma^2=2\pi G_0$ — его плотность дисперсии. В этом случае

$$k_1(s)=\frac{K_{yx}(s,s)}{\sigma^2}\text{ и }w(s,t,m_x,\sigma_x)=\frac{K_{yx}(s,t)}{K_{yx}(s,s)}=k_{yx}(s,t),$$

т.к. весовая ф-ция w зависит от m_x, σ_x и от вида нелинейной цепи. $w(t,\tau)$ совпадает с нормированной взаимной корреляц. ф-цией k_{yx} и при различных m_x и σ_x может быть получена экспериментально. В случае стационарной нелинейной цепи и $m_x=\text{const}$ ф-лы упрощаются и принимают вид

$$k_1(m,\sigma)=\frac{K_{yx}(0,m,\sigma)}{\sigma^2},$$

$$w_1(\tau,m,\sigma)=\frac{1}{\sigma^2}K_{yx}(\tau,m,\sigma),$$

$$\Phi(i\omega,m,\sigma)=\int_0^\infty w(\tau,m,\sigma)\,e^{-i\omega\tau}d\tau,$$

$$k_0(m,\sigma)=\frac{m_y(m,\sigma)}{m}\cdot\frac{1}{\int_0^\infty w(\tau,m,\sigma)\,d\tau},$$

и эквивалентное линейное преобразование может быть заранее рассчитано в зависимости от величины математич. ожидания и ср. квадратич. отклонения на входе нелинейной системы.

Схема определения эквивалентной весовой ф-ции дана на рис. 2. При Л. с. замкнутых

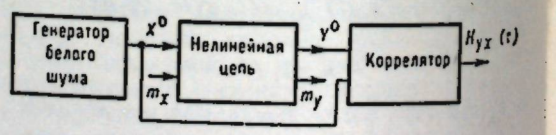


Рис. 2.

систем нелинейный элемент заменяется одним линейным элементом при определении математич. ожидания выходной переменной системы и другим — при определении дисперсии выходной переменной. Вследствие этого статистически линеаризов. система имеет различные передаточные ф-ции для математич. ожидания и для случайных флуктуаций. Для практич. целей в нек-рых задачах с достаточной точностью можно считать, что выходная величина нелинейного элемента распределена по норм. закону. В этом случае можно использовать таблицы ф-л и графиков статистич. коэфф. передачи САР, дающие возможность быстро находить эти коэфф. в зависимости от математич. ожидания и ср. квадратич. отклонения входной величины.

Л. с. была предложена и развита И. Е. Казаковым и Р. Бутоном (R. C. Booton).

Пример: найти математич. ожидание m_y и среднее квадратич. отклонение $\sigma_y=\sqrt{D_y}$ выходной переменной Y системы (рис. 3), состоящей из нелинейной и линейной частей, предполагая, что входное возмущение X — стационарная случайная ф-ция.

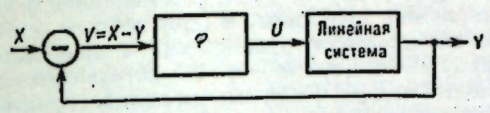


Рис. 3.

Нелинейная часть — релейный элемент, ур-ние его хар-ки (рис. 4):

$$U=\varphi(V)=l\,\mathrm{sign}\,V=\begin{cases}l, & \text{если } V>0,\\ 0, & \text{если } V=0,\\ -l, & \text{если } V<0.\end{cases}$$

Линейная часть — инерц. звено с постоянной времени T. Ур-ние звена: $TY''+Y'=aU$, передаточная ф-ция $R(p)=\frac{a}{p(Tp+1)}$. Случайная функция $X(t)$ имеет корреляционную ф-цию $K_x(\tau)=D_x e^{-\alpha|\tau|}$ и спектр. плотность

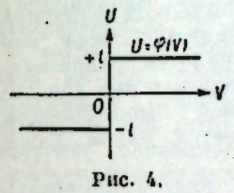


Рис. 4.

$$S(\omega)=\frac{2D_x}{\pi}\frac{\alpha}{\alpha^2+\omega^2}.$$

В этом случае передаточные ф-ции системы по полезному сигналу $R_y^{(1)}$ и по флуктуации $R_y^{(2)}$ равны:

$$R_y^{(1)}(p)=\frac{k_0R(p)}{1+k_0R(p)}=\frac{k_0a}{Tp^2+p+k_0a},$$

$$R_y^{(2)}(p)=\frac{k_1R(p)}{1+k_1R(p)}=\frac{k_1a}{Tp^2+p+k_0a}.$$

Т. к. m_x постоянно, то $m_y=m_xR^{(1)}{}_y(0)=m_x$, т. е. система отрабатывает пост. сигнал без ошибки.

Дисперсия выходной переменной Y равна

$$D_y=\int_0^\infty S(\omega)\,|R_y^{(2)}(i\omega)|^2\,d\omega=\frac{D_xk_1a(1+aT)}{a(1+aT)+k_1a}.$$

Передаточная ф-ция $R_v^{(2)}(p)$, характеризующая влияние входного возмущения X на входную величину $V=X-Y$ релейного элемента, равна

$$R_v^{(2)}(p)=1-R_y^{(2)}(p)=\frac{p(Tp+1)}{Tp^2+p+k_1a}$$

и поэтому

$$D_v=\int_0^\infty S(\omega)\,|R_v^{(2)}(i\omega)|^2\,d\omega=aD_x\frac{1+aT+k_1aT}{a(1+aT)+k_1a}.$$

Коэфф. k_0 и k_1 релейного элемента находятся следующим образом. Пусть на его вход подана нормально распределенная случайная величина v с плотностью $p(v)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{(v-m_v)^2}{2D_v}}$, тогда

$$m_u=\int_{-\infty}^{\infty}\varphi(v)p(v)\,dv=l\{P(v>0)-P(v<0)\}=2l\Phi\left(\frac{m_v}{\sqrt{D_v}}\right),$$

$$\left(\Phi(z)=\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\int_0^z e^{-\frac{z^2}{2}}dz\right);$$

$$D_u=\int_{-\infty}^{\infty}\varphi^2(v)\,p(v)\,dv-m_u^2=l^2\left[1-4\Phi^2\left(\frac{m_v}{\sqrt{D_v}}\right)\right]$$

$$k_0=\frac{m_u}{m_v}=\frac{2l}{m_v}\Phi\left(\frac{m_v}{\sqrt{D_v}}\right);$$

$$k_1^{(1)}=\sqrt{D_u/D_v}=\frac{l}{\sqrt{D_v}}\sqrt{1-4\Phi^2\left(\frac{m_v}{\sqrt{D_v}}\right)};$$

$$k_1^{(2)}=\frac{1}{D_v}\int_{-\infty}^{\infty}(v-m_v)\varphi(v)\,p(v)\,dv=\frac{2l}{\sqrt{2\pi D_v}}e^{-\frac{m_v^2}{2D_v}}$$

($k_1^{(1)}$ и $k_1^{(2)}$ — значения k_1, вычисленные соответственно по 1-му и 2-му критерию Л. с.). В качестве k_1 можно взять ср. арифметическое $k_1^{(1)}$ и $k_1^{(2)}$:

$$k_1=\frac{k_1^{(1)}+k_1^{(2)}}{2}=\frac{l}{\sqrt{D_v}}N\left(\frac{m_v}{\sqrt{D_v}}\right),$$

где

$$N(z)=\frac{1}{2}\sqrt{1-4\Phi^2(z)}+\frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-\frac{z^2}{2}}.$$

Т. к. $m_v=0$, то

$$k_1=\frac{l}{\sqrt{D_v}}N(0)=\frac{l}{\sqrt{D_v}}\left(\frac{1}{2}+\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\right)\approx\frac{0,8985l}{\sqrt{D_v}}$$

и

$$D_v=aD_x\frac{(1+aT)\sqrt{D_v}+0,8985\,laT}{a(1+aT)\sqrt{D_v}+0,8985\,la}.$$

Относительно $\sqrt{D_v}$ это ур-ние кубическое, а если $T=0$, то ур-ние квадратное. Решая его,

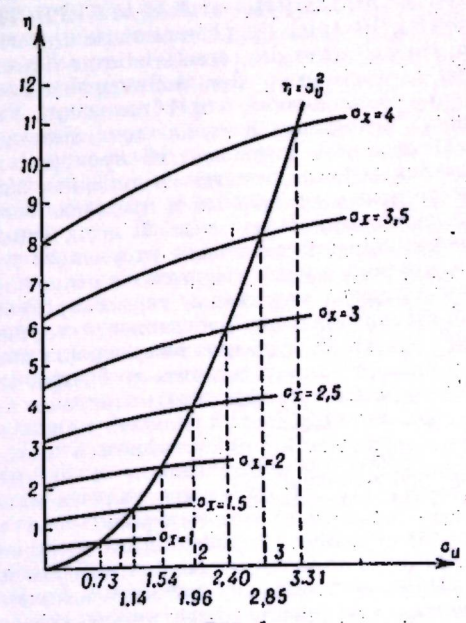


Рис. 5.

находят D_v, а затем k_1 и D_y. В зависимости от конкретных числовых данных вычисления оказываются различной степени сложности,

и часто их удобно проводить графич. путем. При $l=T=1$, $\alpha=0{,}5$, $a=5$ ф-лы для дисперсий с точностью до трех значащих цифр принимают вид:

$$D_v=D_x\frac{\sqrt{D_c}+3}{\sqrt{D_c}+6},\quad D_y=\frac{9D_x}{\sqrt{D_c}+6}.$$

Первая заменяется системой ур-ний:

$$\eta=(\sqrt{D_v})^2,$$

$$\eta=D_x\frac{\sqrt{D_c}+3}{\sqrt{D_c}+6}$$

и в координатах $(\eta, \sigma_v=\sqrt{D_v})$ строятся кривые, соответствующие этим ур-ниям (рис. 5). Пересечение их дает значение $\sigma_v=\sqrt{D_v}$ и затем по второй определяется среднее квадратич. отклонение выходной переменной системы $\sigma_y=\sqrt{D_y}$. Различным σ_x соответствуют следующие значения σ_v, σ_y, k_c, k_1:

σ_x	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4
σ_c	0,73	1,14	1,54	1,96	2,40	2,85	3,31
σ_y	1,15	1,68	2,18	2,66	3,10	3,52	3,94
k_0	1,06	0,68	0,51	0,40	0,33	0,28	0,24
k_1	1,20	0,76	0,58	0,45	0,37	0,31	0,27

Лит.: Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 2 изд., М., 1960; Казаков И. Е., Приближенный вероятностный анализ точности работы существенно нелинейных автоматических систем, «АиТ», 1956, т. 17, № 5; его же, Некоторые вопросы теории статистической линеаризации и ее приложений, в кн.: Труды 1-го Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т. 3], М., 1961; Казаков И. Е., Доступов Б. Г., Статистическая динамика нелинейных автоматических систем, М., 1962; Первозванский А. А., Случайные процессы в нелинейных автоматических системах, М., 1962.

А. И. Тейман.

ЛИНЕАРИЗАЦИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКОВ (pick-up characteristic linearization; linéarisation des caractéristiques des capteurs; Linearisierung der Maßwertgeber-Kennlinien) — нелинейное преобразование выходной величины датчика или величины (аналоговой или цифровой), ей пропорц., посредством к-рого достигается линейная зависимость между измеряемой и представляющей ее величинами. Пользуясь Л. х. д., можно добиться линейности шкалы вторичного прибора, к к-рому подключен датчик с нелинейной хар-кой (напр., термопара, термосопротивление, газоанализатор, расходомер, струнный датчик и др.). Л. х. д. дает возможность получить требуемую точность измерения вторичными приборами с цифровым выходом (напр., в системах централизованного контроля); она необходима в ряде случаев при подключении датчиков к записывающим приборам или при выполнении над измеряемой величиной математич. операций (например, интегрирования).

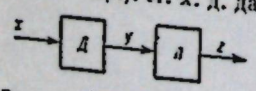


Рис. 1. Обобщенная блок-схема линеаризации: *Д* — датчик; *Л* — линеаризатор.

По отношению к хар-ке датчика линеаризация выступает как обратное функц. преобразование. Если хар-ку датчика представить как $y=F(a+bx)$, где x — измеряемая величина, a и b — постоянные, то хар-ка линеаризатора, включаемого последовательно с датчиком (рис. 1), должна иметь вид: $z=\overline{kF}(y)$, где $\overline{F}$ — ф-ция, обратная F. В результате на выходе линеаризатора будет получено $z=k\overline{F}[F(a+bx)]=a'+b'x$, т. е. линейная ф-ция измеряемой величины. В дальнейшем путем *масштабирования* зависимость z приводится к виду $z'=mx$, где m — соответствующий масштабный коэфф. Если линеаризация производится компенсационным способом, т. е. на основе следящей системы типа рис. 2, то хар-ка линеаризующего *преобразователя функционального* должна быть подобна хар-ке датчика $z=cF(a+bx)$, т. к. линеаризованное значение измеряемой величины снимается со входа функц. преобразователя-линеаризатора, а выход его сравнивается с выходной величиной датчика. Особенностью линеаризаторов как функц. преобразователей является сравнительно узкий класс воспроизводимых ими зависимостей, ограничивающийся монотонными функциями, что определяется видом хар-к датчиков.

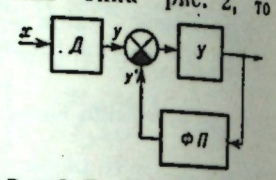


Рис. 2. Блок-схема линеаризации на основе следящей системы: *Д* — датчик; *У* — усилитель (преобразователь); *ФП* — функциональный преобразователь.

Линеаризаторы можно классифицировать по след. признакам: 1. По способу задания функции: пространственному в виде шаблонов, матриц и т. п.; в виде комбинации нелинейных элементов (см. *Нелинейный решающий элемент*); в виде алгоритма цифрового вычислит. устройства. 2. По степени гибкости схемы: универсальные (т. е. перенастраиваемые) и специализированные. 3. По характеру структурной схемы: разомкнутого (рис. 1) и компенсационного (рис. 2) типов. 4. По форме входных и выходных величин: аналоговые, цифровые, смешанного характера (аналого-цифровые и цифро-аналоговые). 5. По типу применяемых в схеме элементов: механические, электромеханические, магнитные, электронные и др.

К числу линеаризаторов с пространственным заданием функции прежде всего относятся механизмы на кулачках, лекалах и нелинейных потенциометрах. Они используются в тех случаях, когда измеряемая величина на какой-либо ступени преобразования представлена в виде механич. перемещения (кулачки — для линеаризации хар-к манометрич. и трансформаторных датчиков, лекала — в самопишущих приборах, нелинейные потенциометры — в потенциометрич. и мостовых схемах). Нелинейность хар-к потенциометров достигается намоткой на профилированных каркасах и секционированием по методу кусочно-линейной аппроксимации путем шунтирования секций соответствующими сопротивлениями. В линеаризаторе, основанном на электромеханич. следящей системе потенциометрич. типа с использованием нелинейного потенциометра (рис. 3), линеаризованная величина выступает в виде угла поворота или механич. перемещения. Эти линеаризаторы просты, универсальны и широко распространены в системах централизованного контроля.

Нелинейности хар-к отдельных элементов (электронных, магнитных, тепловых и др.) используются в параметрич. функц. преобразователях. Однако между отрабатываемыми ими функц. зависимостями и хар-ками датчиков обычно не удается добиться полного соответствия. Кроме того, некоторые из нелинейных элементов, напр. тириты, обладают значит. температурными погрешностями. Поэтому линеаризаторы подобного типа применяются только в тех случаях, когда высокая точность измерения не требуется. Часто встречаются линеаризаторы, в к-рых ф-ция задается в виде комбинации нелинейных элементов, напр. *преобразователь функциональный диодный*.

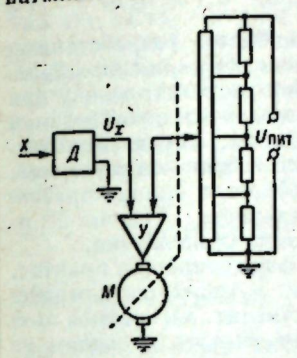


Рис. 3. Линеаризатор на электромеханич. следящей системе потенциометрич. типа: *Д* — датчик с выходом в виде пост. напряжения; *У* — усилитель; *М* — электродвигатель.

К матричному способу задания ф-ции относятся методы, основанные на применении *кодирующих дисков*, магнитных или фотоэлектрич. барабанов с нанесенными на них нелинейными кодами. Напр., на рис. 4 напряжение U_x сравнивается с помощью нуль-органа *НО* с напряжением $U_{ср}$, вырабатываемым генератором *ГСР*, к-рое нарастает ступеньками по мере поступления в *ГСР* импульсов, снимаемых с нелинейной дорожки *c* барабана. С линейной дорожки *b* снимается линеаризованный сигнал в виде последовательности импульсов. В момент t_0 равенства $U_x=U_{ср}$ нуль-орган вырабатывает сигнал отсечки счета выходных импульсов. Начало преобразования определяется маркерным импульсом дорожки *a*.

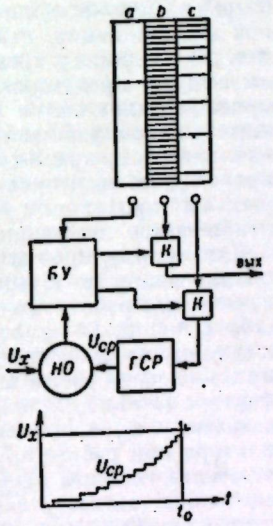


Рис. 4. Преобразователь постоянного напряжения в унитарный код с линеаризацией на барабане: *БУ* — блок управления; *К* — ключ; *ГСР* — генератор ступенчатой развертки; *НО* — нуль орган; U_x — входное напряжение; $U_{ср}$ — напряжение нелинейной развертки напряжения сравнения; t_0 — время отсечки.

Алгоритмич. способ задания ф-ции применяется в цифровых функц. преобразователях (см. *Цифровой аналог*); их достоинства — высокая точность и стабильность хар-к. В них используются матсматич. свойства отдельных функц. зависимостей или принцип кусочно-линейной аппроксимации. Напр., парабола отрабатывается на основании свойства квадратов целых чисел: $n^2=\sum_{k=1}^{n}2k-1$; функц. преобразователь (квадратор) выполняет или последоват. суммирования или, с поступлением k-го импульса, дает на выходе пакет из $2k-1$ импульсов. Аналогично (путем обращения квадратора) может извлекаться корень. На методе кусочно-линейной аппроксимации основан, напр., цифровой линеаризатор, работающий на принципе заполнения отрезков аппроксимации импульсами различных частот следования. Частоты заполнения изменяются скачками в граничных точках отрезков аппроксимации по программе, закладываемой в устройство в соответствии с видом нелинейности. Линеаризуемая величина преобразуется при этом в унитарный код. Кусочно-линейная аппроксимация нелинейности может также осуществляться цифровым линейным интерполятором; при этом частоты заполнения интервалов интерполяции остаются пост. лишь в среднем. Преимущества цифровых линеаризаторов, основанных на методе кусочно-линейной аппроксимации: легкость перенастройки набранной нелинейности и быстрота переключений с одной нелинейности на др., что особенно важно в быстродействующих системах централизованного контроля. В сложных управляющих системах, содержащих универсальные вычислит. машины, линеаризация может выполняться непосредственно этими машинами, в к-рые функция закладывается в виде соответствующей подпрограммы.

Лит.: Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; Доброгурский С. О., Казаков В. А., Титов В. К., Счетно-решающие устройства, М., 1959; Цифровые аналоги для систем автоматического управления, М.—Л., 1960; Клейн М. Л., Морган Г. С., Аронсон М. Г., Цифровая техника для вычислений и управления, пер. с англ., М., 1960.

Ю. Р. Агамалов.

ЛИНЕЙНАЯ СИСТЕМА (цепь) (linear system; système linéaire; lineare Schaltung, linearer Kreis, lineares System) — система, процессы в к-рой описываются линейными дифференц. ур-ниями с пост. или перем. коэфф. Л. с. могут быть электрич., механич., акустич., смешанными и др., однако в различных по физич. природе системах движения описываются одинаковыми по структуре дифференц. ур-ниями. На этом основан принцип физич. *моделирования* и, в частности, электрич. моделирование механич. систем.

Электрич. Л. с. чаще называют линейными электрич. цепями. Для таких цепей справедлив закон Ома. Полное сопротивление линейной электрич. цепи постоянно, т. е. не зависит от величины действующей в цепи эдс. Строго линейных электрич. цепей, как и др. Л. с., в природе не существует. Так, электрич. сопротивление проводников зависит от их темп-ры и, вследствие выделения тепла по закону Ленца — Джоуля, от тока, протекающего по проводнику. Однако в тех случаях, когда зависимости между токами и напряжениями в цепи близки к линейным и их отступление от линейных не имеет в рассматриваемом явлении принципиального значения, цепь можно считать линейной. При этом реальная цепь мысленно заменяется ее моделью, составленной из идеальных линейных элементов. При выполнении условия квазистационарности, т. е. при достаточно медленных изменениях токов и напряжений, электрич. цепь моделируется сосредоточенными идеальными элементами: сопротивлениями $R=\frac{u}{i}$, индук-

[illegible] и конденсаторами $C=\frac{\int i\,dt}{u}$, [illegible] напряжение на элементе, а i — [illegible] через элемент ток. При нарушении [illegible] стационарности, т. е. при достаточно быстрых изменениях токов и напряжений, [illegible] R, C и L нельзя считать сосредоточенными в определенных частях цепи и [illegible] между собой. Тогда говорят о распределенных параметрах цепи, определяя [illegible] R, C и L, приходящиеся на единицу длины участка цепи. Примерами систем с распределенными параметрами являются [illegible] линии и волноводы.

Важнейшее свойство Л. с. — суперпозиция движений (колебаний) в таких системах (см. *Суперпозиции принцип*). В электрич. линейной цепи суперпозиция проявляется в том, что электрич. процесс, протекающий в цепи под воздействием неск. эдс, является суммой электрич. процессов, каждый из к-рых представляет собой результат действия только одной эдс.

В Л. с. различают переходные и установившиеся процессы. Процессы в линейной электрич. цепи являются установившимися, если закон изменения всех напряжений и токов совпадает с точностью до пост. множителей с законом изменения действующей в цепи внешней эдс. После включения внешней эдс процесс в линейной электрич. цепи может считаться установившимся лишь через нек-рый промежуток времени, определяемый параметрами цепи и характером изменения внешней эдс. Установившимся процессам всегда предшествуют неустановившиеся процессы, наз. также собственными движениями в системе, в отличие от вынужденных движений при установившихся процессах. Расчет неустановившихся процессов в Л. с. весьма облегчается применением операторного метода решения дифференц. ур-ния системы. Установившиеся процессы рассчитываются методом комплексных амплитуд.

Лит.: Стрелков С. П., Введение в теорию колебаний, М.— Л., 1950; Бонч-Бруевич А. М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, 4 изд., М., 1956; Конторович М. И., Операционное исчисление и нестационарные явления в электрических цепях, 2 изд., М., 1955; Гинзбург С. Г., Методы решения задач по переходным процессам в электрических цепях, 2 изд., М., 1959.

Л. Н. Капцов.

ЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ (linear programming; programmation linéaire; lineare Programmierung) — математич. дисциплина, изучающая теоретич. принципы и числ. методы решения линейных экстрем. задач, в к-рых целевая ф-ция (показатель качества решения задачи) — линейная ф-ция (линейная форма) переменных (т. н. параметров управления), а ограничения представляют собой линейные равенства или неравенства. В задаче Л. п. требуется вычислить вектор $X=(x_1, \ldots, x_n)$, на к-ром достигается экстремум линейной формы

$$L(x)=\sum_{j=1}^{n} c_j x_j = c_1x_1+c_2x_2+\ldots+c_nx_n \qquad (1)$$

при условиях

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j=b_i, \quad i=1, 2, \ldots, m_1, \qquad (2)$$

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j \leqslant b_i, \quad i=m_1+1, \ldots, m, \qquad (3)$$

$$x_j \geqslant 0, \quad j=1, 2, \ldots, n. \qquad (4)$$

Л. п. является наиболее разработанным разделом математич. программирования. Оно представляет собой теорию, основу для решения широкого класса задач планирования производства и экономики, управления техникой и организации этой деятельности, в различных областях [illegible] деятельности. Теория Л. п. имеет и чисто математич. приложения.

Отметим, что [illegible] Л. п. и [illegible] методы позволяют [illegible] линейного программирования [illegible] математич. [illegible] и т. п. задач управления и планирования на этой математич. основе.

Ниже приводятся 3 примера задач Л. п.

1. Задача производства [illegible] Пусть задан [illegible] способов производства однородного продукта. Каждому способу произ-ва отвечает определ. набор затрат различных производств. факторов (сырья разной категории, рабочая сила разной квалификации, станочный парк, горючее и т. д.) в единицу времени и обеспечивает им выпуск продукции. Задача планирования произ-ва заключается в определении продолжительностей работы по различным технологич. способам, при к-рых затраты каждого из производств. факторов не превысят допустимых, а продукция предприятия достигнет наибольшего возможного уровня.

Для формулировки задачи производств. планирования в терминах Л. п. обозначим: x_j — время работы по j-му технологич. способу ($j=1, 2, \ldots, n$), z_j — выпуск продукции в единицу времени при работе по j-му способу произ-ва, b_i — объем наличных ресурсов i-го фактора ($i=1, 2, \ldots, m$), ограничивающий его затраты, a_{ij} — затраты i-го производств. фактора при работе по j-му способу произ-ва в течение единицы времени. В принятых обозначениях оптим. план представляет собой вектор $x=(x_1, \ldots, x_n)$, компоненты к-рого

$$x_j \geqslant 0, \quad j=1, 2, \ldots, n \qquad (4')$$

характеризуют продолжительность работы по каждому из технологич. способов, обеспечивающую достижение макс. объема продукции предприятия

$$\sum_{j=1}^{n} c_j x_j \qquad (1')$$

при условии, что расходы производств. факторов не превысят наличных ресурсов

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij}x_j \leqslant b_i, \quad i=1, 2, \ldots, m. \qquad (3')$$

Задача (1'), (3'), (4') является задачей Л. п.

2. Задача о рациональном распределении посевной площади. Пусть посевные площади совхозов, входящих в состав района, равны соответственно $s_1, s_2, \ldots, s_m$. Согласно плану, в районе

должно производиться n культур в соотношении $p_1 : p_2 : \ldots : p_n$. Ожидаемый урожай j-й культуры на землях i-го совхоза равен $a_{ij}>0$ единиц с 1 *га*. Требуется вычислить, какую часть посевной площади должен отвести каждый совхоз под ту или иную культуру, чтобы обеспечить макс. урожай при предписанном соотношении культур.

Обозначим x_{ij} — число *га*, к-рое i-й совхоз должен отвести под j-ю культуру. Общая посевная площадь i-го совхоза равна

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij}=s_i \quad (i=1, 2, \ldots, m). \qquad (2'')$$

Ожидаемый урожай j-й культуры со всей посевной площади района равен $z_j=\sum_{i=1}^{m} a_{ij}x_{ij}$ ($j=1, 2, \ldots, n$). Задача рацион. распределения посевной площади сводится к подбору системы чисел

$$x_{ij} \geqslant 0 \quad (i=1, 2, \ldots, m;\ j=1, 2, \ldots, n), \qquad (4'')$$

при к-рых имеет место условие (2''), а система отношений

$$L(x)=\frac{z_1}{p_1}=\frac{z_2}{p_2}=\ldots=\frac{z_n}{p_n} \qquad (1'')$$

достигает максимума. Задача (1''), (2''), (4'') является задачей Л. п.

3. Задача расчета и синтеза импульсной автоматической системы (ИАС). При проектировании ИАС часто возникает необходимость в системах, обеспечивающих экстрем. значение выходной величины в заданный момент времени или нек-рой линейной комбинации выходных сигналов в определ. моменты времени при линейных ограничениях на управляющие воздействия, фиксирующих допустимые пределы отклонения выходного процесса от желаемого. Для ИАС с АИМ значения выходной величины $z(n)$ в дискретные моменты времени связаны с ф-цией веса (импульсной проводимостью) $W(n, m)$ непрерывной части системы и управляющими воздействиями $u(m)$ в моменты m соотношением $z(n)=\sum_{m=0}^{n} W(n, m)u(m)$. Расчет ИАС, в к-рой требуется обеспечить экстремум заданной линейной комбинации

$$L=\sum_{k=n}^{n+s} \alpha_k z(k)=\sum_{k=n}^{n+s}\sum_{m=0}^{k} \alpha_k W(k, m)u(m)$$

выходных сигналов в моменты времени n, $n+1, \ldots, n+s$ при ограниченных по модулю управляющих воздействиях $|u(k)| \leqslant d_k$, $k=n, n+1, \ldots, n+s$, и заданном допустимом диапазоне отклонений процесса $z(n)$ от желаемого $z^0(n)$:

$$\left| z^0(k)-\sum_{m=0}^{k} W(k, m)\,u(m) \right| \leqslant b_k,$$

$$k=n, n+1, \ldots, n+s$$

является задачей Л. п.

Область определения задач Л. п., определяемая ограничениями (2)—(4), представляет собою выпуклое многогранное множество. Каждая точка этого множества наз. планом, каждая вершина — опорным планом. Задача Л. п. наз. разрешимой, если существует набор чисел $X=(x_1, x_2, \ldots, x_n)$, удовлетворяющий условиям задачи и обращающий линейную форму в максимум или в минимум (в зависимости от постановки задачи). Неразрешимость задачи может быть обусловлена противоречивостью условий или неограниченностью линейной формы на множестве планов задачи.

Если задача Л. п. имеет единственное решение, то оно достигается в вершине многогранного множества — области определения линейной формы. Если решение не является единственным, то задача имеет бесчисл. множество оптим. планов. Экстремум в этом случае достигается во всех точках грани многогранного множества, определяемой вершинами — решениями задачи.

Необходимость спец. аппарата для решения задач Л. п. определяется тем, что классич. метод решения условных экстрем. задач (метод Лагранжа) позволяет только установить, что оптим. план является опорным планом. Т. о., решение задачи Л. п. классич. методом сводится к перебору всех вершин области определения задачи и к сравнению между собой значений линейной формы, к-рые достигаются во всех вершинах соответствующего многогранного множества. В задачах с числом переменных и ограничений порядка нескольких десятков полный перебор вершин не под силу даже перспективным вычислит. машинам с быстродействием в миллионы операций в сек. Напр., в частном случае *транспортной задачи* — в т. н. проблеме выбора, при $n=20$ число вершин многогранника задачи равно $n!>2\cdot10^{18}$. Конечные методы Л. п. позволяют упорядочить перебор вершин многогранного множества условий исходной или т. н. сопряженной (см. *Двойственности теория*) задачи. Упорядоч. перебор вершин требует в упомянутой проблеме выбора порядка n^3 элементарных операций. Методы Л. п. позволяют также установить неразрешимость задачи, если она имеет место.

Осн. теоретич. вопрос Л. п. — это принцип двойственности. Двойственности теория является исходным пунктом для построения ряда методов Л. п. Кроме того, она устанавливает связь между Л. п. и др. математич. дисциплинами (теория игр, теория приближений ф-ций, теория моментов и т. д.). Методы теории игр, в свою очередь, способствовали развитию итеративных методов Л. п. В последнее время наметилась возможность использования Л. п. для улучшения численных методов вычислит. математики.

Методы Л. п. представляют собой последовательности однообразных по процедуре выполнения *итераций*, приводящих через конечное число шагов или в пределе к оптим. плану задачи Л. п. Отправляясь от нек-рого набора чисел $Z^0=(z_1^0, z_2^0, \ldots, z_s^0)$, определяют в результате ν-й итерации вектор $Z^{(\nu)}=(z_1^{(\nu)}, z_2^{(\nu)}, \ldots, z_s^{(\nu)})$, в нек-ром смысле более близкий к решению задачи, чем $Z^{(\nu-1)}=(z_1^{(\nu-1)}, z_2^{(\nu-1)}, \ldots, z_s^{(\nu-1)})$. В одних методах $Z^{(\nu)}=X^{(\nu)}=(x_1^{(\nu)}, \ldots, x_n^{(\nu)})$ — опорный план прямой задачи; в других $Z^{(\nu)}=Y^{(\nu)}=(y_1^{(\nu)}, y_2^{(\nu)}, \ldots, y_m^{(\nu)})$ — опорный план сопряж. задачи. Имеется также

ряд методов, в к-рых вектор $Z^{(v)}$ не совпадает ни с $X^{(v)}$, ни с $Y^{(v)}$.

Методы Л. п. наз. конечными, если решение задачи достигается за конечное число шагов. Конечные методы Л. п. являются в принципе точными методами. Методы наз. итеративными, если последовательность $Z^{(v)}$ сходится к вектору Z^*, определяющему оптим. план X^* задачи Л. п. Итеративные методы позволяют получить лишь приближ. решение задачи. При этом качество решения существенно зависит от числа проведенных итераций.

Конечные методы Л. п. могут быть разделены на 3 осн. класса в зависимости от того, используется ли для достижения оптим. плана прямая задача, двойственная задача или обе задачи двойственной пары совместно. Осн. представителем методов 1-го класса является т. н. *симплексный метод*, или метод последовательного улучшения плана (метод УП). Решение задачи методом УП начинается с анализа нек-рого исходного опорного плана прямой задачи. В соответствии с критерием оптимальности проверяется, является ли исследуемый план оптимальным. В соответствии с признаком неразрешимости устанавливается, нет ли оснований считать линейную форму неограниченной на множестве планов задачи. Если рассматриваемый опорный план неоптимален и нет оснований считать задачу неразрешимой, следует, согласно правилам, рекомендуемым методом УП, перейти к очередному опорному плану, соответствующему, вообще говоря, большему (в задачах на максимум) значению линейной формы задачи. Отправляясь от построенного т. о. опорного плана, проводят следующую итерацию по тем же правилам. В процессе перехода от одного опорного плана к др. с неменьшим значением линейной формы метод УП приводит за конечное число шагов к решению задачи или к установлению ее неразрешимости. Вектор $Z^{(v)}$ в методе УП представляет собой опорный план $X^{(v)}=(x_1^{(v)},\ldots, x_n^{(v)})$ прямой задачи. Известны различные модификации метода УП и реализующих его алгоритмов. Осн. модификации метода УП, расположенные в порядке возрастания удобства реализации их на ЦВМ, называются: прямой симплексный метод (I алгоритм метода УП), метод обратной матрицы (II алгоритм метода УП), мультипликативный метод и модернизированный мультипликативный метод. В ряде вычислит. центров СССР имеются стандартные программы для различных модификаций метода УП, составленные применительно к разным отечеств. вычислит. машинам.

Осн. представитель 2-го класса конечных методов Л. п. — двойственный метод — состоит в применении метода УП к решению двойств. задачи. При этом метод УП сформулирован в терминах прямой задачи. Из экономич. интерпретации двойств. задачи вытекает, что каждый из ее опорных планов можно рассматривать как приближенную систему оценок условий прямой задачи. С каждым шагом двойств. метода оценки уточняются. Поэтому его часто именуют методом последовательного уточнения оценок (методом УО). Вектор $Z^{(v)}$ в методе УО представляет собой опорный план $Y^{(v)}=(y_1^{(v)}, y_2^{(v)}, \ldots, y_m^{(v)})$ двойственной задачи.

Осн. представитель 3-го класса конечных методов Л. п., в к-рых для достижения решения используются обе задачи двойств. пары,— метод последовательного сокращения невязок (метод СН). Идею метода удобно изложить для т. н. канонич. формы записи задачи Л. п., когда все условия записаны в виде равенств, а все переменные — параметры управления задачи — неотрицательны. В методе СН компоненты вектора $Z^{(v)}=(z_1^{(v)},\ldots,z_n^{(v)})$ — неотрицат. числа. Правила перехода от $Z^{(v)}$ к $Z^{(v+1)}$ обеспечивают сокращение от шага к шагу разностей между левыми и правыми частями условий задачи. Эти разности принято называть невязками условий. Доказывается, что через конечное число шагов невязки будут сведены к нулю или будет установлена неразрешимость задачи. Определяющая особенность метода — последовательное сокращение невязок — отражена в его названии.

Другой метод, относящийся к 3-му классу,— метод двусторонних оценок (метод ДО) — позволяет выбирать в качестве векторов $Z^{(v)}$ планы прямой задачи. В этом методе после каждого шага получают оценку уклонения получ. плана от оптимального. Приближ. решение задачи Л. п. по методу ДО обычно требует существенно меньше итераций, чем точное решение. Процесс решения задачи можно считать законченным, когда оценки уклонений получ. плана от оптимального укладываются в заранее заданные пределы.

Итеративные методы вычисления оптим. плана созданы гл. обр. вне Л. п. Многие из них возникли из потребностей теории игр. Решение пары двойств. задач Л. п. сводится к вычислению смешанных стратегий двух игроков в прямоугольной игре с нулевой суммой.

Идея одного из наиболее простых итеративных методов решения игр — метода Брауна или метода «вилки» — заключается в следующем. Фиксируется произвольная нач. стратегия одного игрока и применительно к ней вычисляется наивыгоднейшая стратегия противника. Затем определяется поведение первого игрока, наилучшее против вычисленной т. о. стратегии др. игрока. Следующий шаг второго игрока является наилучшим ответом против поведения первого игрока на 1-м и 2-м его шагах и т. д. Стратегии обоих противников на каждом шаге определяют планы (не обязательно опорные) соответствующей пары взаимосопряж. задач Л. п. С увеличением номера шага планы обеих задач стремятся к оптим. планам этих задач. Каждая итерация метода Брауна и др. итеративных методов, заимствов. из теории игр (метод Неймана, метод дифференц. ур-ний и др.), весьма проста. Однако все эти методы сходятся медленно, и для получения решения с высокой точностью требуется весьма большое число итераций.

Градиентные методы, разработанные Эрроу, Гурвицем и Удзавой для *выпуклого программирования*, могут быть использованы и в Л. п. [5]. В итерац. методе Булавского [6] решение задачи Л. п. заменяется решением последовательности спец. построенных задач *квадратичного программирования*.

Итеративные методы Л. п. могут быть также основаны на том, что задачу на условный минимум линейной формы можно заменить задачей на безусловный минимум нек-рой нелинейной выпуклой ф-ции, к-рая принимает весьма большие значения вне области определения соответствующей задачи Л. п. Для решения безусловной экстрем. задачи могут использоваться различные градиентные методы, «овражный» метод И. М. Гельфанда и М. Л. Цетлина, метод «тяжелого шарика» Б. Т. Поляка и др. итеративные методы. Имеются работы по использованию метода случайного поиска (*Монте-Карло метода*) для решения задач Л. п.

В настоящее время конечные методы Л. п. отработаны лучше и используются чаще других. Методы Л. п. интенсивно внедряются в планирование производства и управление техникой.

Первые работы по Л. п. принадлежат сов. математику Л. В. Канторовичу и относятся к 1939. Интенсивная разработка Л. п. началась после 1947 в США (работы Данцига). В 1961 библиография работ по Л. п. насчитывала уже несколько тысяч наименований.

Лит.: 1. Канторович Л. В., Экономический расчет наилучшего использования ресурсов, М., 1959; 2. Юдин Д. Б., Гольштейн Е. Г., Задачи и методы линейного программирования, М., 1961; 3. Гасс С. И., Линейное программирование, пер. с англ. М., 1961; 4. Вайда С., Теория игр и линейное программирование, в сб.: Линейные неравенства и смежные вопросы, сб. переводов с англ., М., 1959; 5. Эрроу К. Дж., Гурвиц Л., Удзава Х., Исследования по линейному и нелинейному программированию, пер. с англ., М., 1962; 6. Булавский В. А., Итеративный метод решения общей задачи линейного программирования, в сб.: Численные методы оптимального планирования, Новосибирск, 1962.

Д. Б. Юдин.

ЛИНЕЙНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ (linear distortions; distorsions linéaires; lineare Verzerrungen) — искажения негармонич. сигнала, не сопровождающиеся появлением новых частотных составляющих. Л. и. — единств. вид искажений при прохождении сигнала через линейную систему. Термин «Л. и.» обычно применяют только для электрич. систем, в частности для электрич. фильтров. Всякий линейный четырехполюсник характеризуется комплексным коэфф. передачи напряжения

$$k=\frac{U_{02}e^{j\varphi_2}}{U_{01}e^{j\varphi_1}},$$

где $U_{02}e^{j\varphi_2}$ и $U_{01}e^{j\varphi_1}$ — записанные в комплексной форме амплитуды колебаний напряжений с круговой частотой ω, соответственно на выходе и входе четырехполюсника. Л. и. разделяются на амплитудные (амплитудно-частотные) и фазовые искажения. Амплитудные искажения вызваны зависимостью модуля $|\overline{k}|$ от частоты, приводящей к изменению соотношений между амплитудами гармонич. составляющих сигнала при прохождении его через систему. Фазовые искажения определяются зависимостью аргумента $\overline{k}$ от частоты и состоят в изменении фазовых соотношений между составляющими сигнала. Зависимость $|\overline{k}|$ от частоты наз. частотной (амплитудно-частотной), а зависимость $(\varphi_2-\varphi_1)=\psi$ от частоты — фазовой хар-кой системы. Частотная и фазовая хар-ки идеальной системы, не вызывающей Л. и. произвольного сигнала, должны при любых частотах удовлетворять следующим соотношениям:

$$|\overline{k}|=\text{const}$$
$$\cdot\ |\psi|=n\pi+t_0\omega,$$

где n — целое число, а t_0 — время прохождения гармонич. составляющих сигнала через систему. Реальные системы, напр. усилители электрич. сигналов, обычно характеризуются частотной полосой пропускания, в пределах к-рой эти соотношения выполняются с заданной точностью. Л. и. негармонич. сигналов, спектр к-рых не выходит за пределы полосы пропускания системы, малы. Если сигнал содержит составляющие, частоты к-рых лежат вне пределов полосы пропускания системы, то Л. и. сигнала малы при условии, что на эти составляющие приходится лишь незначит. доля полной энергии сигнала.

Лит.: Цыкин Г. С., Электронные усилители, М., 1960; Бонч-Бруевич А. М., Применение электронных ламп в экспериментальной физике, 4 изд., М., 1956.

Л. И. Капцов.

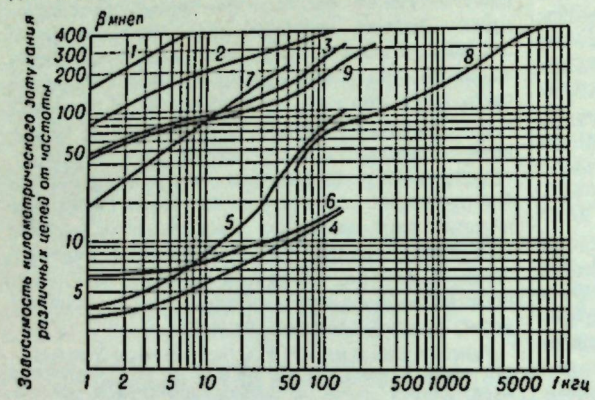
ЛИНИИ СВЯЗИ КАБЕЛЬНЫЕ И ВОЗДУШНЫЕ (cable and aerial communication lines; lignes de liaison par câble et aériennes; Kabel- und Luft- Verbindungsstrecken) служат для передачи информации по проводам при помощи электрич. сигналов. Тип линии связи определяет количество информации, к-рое способна пропустить линия, качество каналов связи, их надежность и стоимость. Кабельные линии позволяют организовать более мощные пучки каналов связи, отличающихся высокой защищенностью от внешних электромагнитных полей, что уменьшает уровень шумов в каналах и позволяет снижать мощность передатчиков. Кабельные линии по сравнению с воздушными обладают более высокой эксплуатац. надежностью и значительно меньшей зависимостью параметров от метеорологич. условий. Стоимость кабельных линий в большинстве случаев превосходит стоимость воздушных линий. Однако при расчете на канало-километр капитальные затраты и эксплуатац. расходы кабельных линий получаются ниже (из-за большого количества каналов), чем на воздушных линиях связи. Отыскание повреждений в кабельных линиях связано со значительно бо́льшими трудностями, чем на воздушных. Выбор типа линий зависит от требований.

Кабельные линии: симметричные кабели широко используются в спектре тональных частот в городских телефонных сетях. Наблюдается пост. рост междугородных кабельных линий, уплотненных многоканальной ВЧ аппаратурой связи. С прогрессом в кабельной технике снижается затухание цепей и уменьшается влияние между ними, что позволяет увеличивать длину усилит. участков и повышать верхнюю границу передаваемых частот.

Коаксиальные кабели обычно используются в диапазоне от 60 *кгц* до 8000—10000 *кгц*. Использование их до 60 *кгц* нецелесообразно из-за малой помехозащищенности в этом диапазоне. С ростом частоты помехозащищенность возрастает. По коаксиальной паре организуется 300 междугородных телефонных каналов в спектре 312—1500 *кгц* и одна телевиз. программа на частотах 2000—8000 *кгц* (см. *Коаксиальная линия*).

На рис. приведена зависимость километрич. затухания различных цепей от частоты.

В зависимости от места и способа прокладки кабельной линии применяются подземные, подводные или воздушные *кабели*. Используются провода диаметром 0,5; 0,6 и т. д. до 1,0; 1,2 и 1,4 *мм*.



Зависимость километрич. затухания различных цепей от частоты; где *1* — кабель с воздушно-бумажной изоляцией, d=0,5 *мм*; *2* — кабель с кардельно-бумажной изоляцией, d=0,8 *мм*; *3* — то же, d=1,4 *мм*; *4* — воздушная линия, медь, d=4 *мм*; *5* — то же, изморозь, d=20 *мм*; *6* — воздушная линия, биметалл, d=4 *мм*; *7* — воздушная линия, сталь, d=4 *мм*; *8* — коаксиальный кабель 5/18; *9* — кабель, кардельно-спирофлексная изоляция, d=1,2 *мм*.

Воздушные линии: стальные цепи, характеризующиеся большой величиной активного сопротивления и высоким значением магнитной проницаемости. Поэтому затухание стальных цепей велико, а длина усилит. участков связи даже на тональных частотах не больше 80—100 *км*. С увеличением частоты затухание стальных цепей быстро возрастает, поэтому используются частоты до 30 *кгц*. Медные цепи имеют низкий коэфф. затухания и используются в диапазоне от 0 до 150 *кгц*. Из-за высокой стоимости применяются только на основных направлениях связи. Биметаллические цепи на частотах от 30 *кгц* и выше имеют такие же хар-ки, как и медные, но обладают бо́льшим сопротивлением пост. току и более высоким затуханием на НЧ. Однако абсолютная величина затухания на этих частотах невелика.

На воздушных линиях подвешивают: стальные провода, покрытые тонким слоем цинка с диаметрами 3, 4 и 5 *мм*; биметаллич. провода из стали и тонкого слоя меди с общим диаметром 4 *мм*; медные провода с диаметрами 3; 3,5 и 4 *мм*.

В табл. 1 приведены системы ВЧ уплотнения линий связи.

Табл. 1. Системы ВЧ уплотнения линий связи

Система уплотнения	Тип линии	Число ВЧ каналов	Спектр частот, *кгц*	Длина усилит. участка, *км*
	Кабельная			
К-12	Симметричная	12	12—60	50
К-24	«	24	12—108	40
К-60	«	60	12—252	20
К-120	«	120	12—552	15
К-180	«	180	12—800	10
К-960	Коаксиальная	960	312—4100	10
К-1920	«	1920	312—8500	6
Телевидение	«	1	6000	6
	Воздушная			
ВС-3	стальная	3	3—25	40—50
В-3	цветная	3	6—27	200—350
В-12	цветная	12	36—150	75—125

Электрические хар-ки линий связи полностью определяются параметрами передачи и параметрами влияния. Первые характеризуют процессы распространения электромагнитной энергии вдоль линии, а вторые — переход энергии с одной цепи на др. и степень защищенности от взаимных и внешних помех. Первичными параметрами наз.: активное сопротивление проводов — R, индуктивность — L, емкость — C и проводимость изоляции — G. Ко вторичным параметрам передачи относят волновое сопротивление Z_c и коэфф. распространения γ. Вторичные параметры влияния: B_0 — переходное затухание на ближнем конце, B_l — переходное затухание на дальнем конце.

Активное сопротивление цепей обусловливает переход электрич. энергии в тепловую. На нем выделяется и рассеивается тепловая энергия. Различают два вида потерь в линиях: в изоляционных материалах, в проводах и в проводниках их окружающих. Активное сопротивление кабельной цепи перем. току характеризует потери энергии в металлич. частях и определяется по ф-ле:

$$R = R_0 + R_{пэ} + R_{бл} + R_м,$$

где R_0 — сопротивление пост. току; $R_{пэ}$ — сопротивление поверхностного эффекта; $R_{бл}$ — сопротивление эффекта близости; $R_м$ — сопротивление потерь в металле (в соседних кабельных цепях и свинцовой оболочке). На воздушных цепях учитываются только R_0 и $R_{пэ}$, поскольку $R_{бл}$ и $R_м$ пренебрежимо малы по сравнению с ними. Для двухпроводных цепей длиной 1 *км* при t=20°

$$R_0 = \varrho \frac{2550}{d^2}\ ом/км,$$

где ϱ — уд. сопротивление металла в $ом \cdot мм^2/м$ при t=20° (меди 0,01785; алюминия 0,0292; стали 0,138÷0,146). При необходимости определения сопротивления провода при темп-ре t, отличной от 20°, пользуются ф-лой:

$$R_t = R_0 [1 + \alpha (t - 20)]\ ом/км,$$

где α — темп-рный коэфф. сопротивления (меди 0,0039, алюминия 0,0037, стали 0,0046). Сопротивление перем. току провода всегда выше, чем постоянному. Это объясняется тем, что под влиянием перем. магнитного поля внутри проводника ток вытесняется к его поверхности, где вследствие этого возрастает плотность тока и увеличиваются активные потери. При этом плотность тока в центр. части проводника уменьшается. Это явление наз. поверхностным эффектом и в ф-ле отображается слагаемым $R_{пэ}$. Чем выше магнитная проницаемость материала, чем больше диаметр провода, чем выше частота тока — тем сильнее сказывается поверхностный эффект. За счет взаимного влияния рядом расположенных токонесущих проводов цепи возникает эффект близости. Каждый из двух проводов цепи создает своим внешним магнитным полем вихревые токи в соседнем проводе. В результате взаимодействия вихревых токов с основным током плотность тока на обращенных друг к другу поверхностях проводов увеличивается. Эффект близости так же, как и поверхностный эффект, зависит от частоты тока, диаметра проводов, магнитной проницаемости и от расстояния между проводами. С приближением проводов цепи друг к другу эффект близости возрастает обратно пропорционально квадрату расстояния между ними. Кроме того, вихревые токи, создаваемые внешним магнитным полем цепи, производят нагрев окружающих металлич. частей. Эти дополнит. потери энергии также вызывают увеличение активного сопротивления цепи при перем. токе. Для расчета активного сопротивления R кабельной цепи с учетом поверхностного эффекта и эффекта близости используется ф-ла:

$$R = R_0 \left[1 + F(x) + \frac{pG(x) \left(\frac{d}{a}\right)^2}{1 - H(x) \left(\frac{d}{a}\right)^2} \right] ом/км,$$

где $F(x)$ — коэфф., учитывающий поверхностный эффект; $G(x)$ и $H(x)$ — коэфф., учитывающие эффект близости; a — расстояние между проводами цепи; d — диаметр проводов; p — коэфф., учитывающий увеличение сопротивления при различных видах скрутки. Значения коэфф. p приведены в табл. 2; $F(x)$, $G(x)$, $H(x)$ — в табл. 3.

Таблица 2

Скрутка	Вид цепи	p
Парная	Основная	1.0
Звездная	Основная	5.0
	Искусственная	1.6
Двойная	Основная	2.0
Парная	Искусственная	3.5

Таблица 3

x	$F(x)$	$G(x)$	$H(x)$	$Q(x)$
0	0	0	0,0417	1,0
0.5	0,000326	0,000975	0,0417	0,9998
1.0	0,00519	0,01519	0,053	0,997
1.5	0,0258	0,0691	0,092	0,987
2.0	0,0782	0,1724	0,169	0,961
2.5	0,1756	0,295	0,263	0,913
3.0	0,318	0,405	0,348	0,845
3.5	0,492	0,499	0,416	0,766
4.0	0,678	0,584	0,466	0,686
4.5	0,862	0,669	0,503	0,616
5.0	1,042	0,755	0,530	0,556
7.0	1,743	1,109	0,596	0,400
10.0	2,799	1,641	0,643	0,282
10.0	$\frac{x\sqrt{2}-3}{4}$	$\frac{x\sqrt{2}-1}{8}$	0,750	$\frac{2\sqrt{2}}{x}$

$$x = 7{,}09 \sqrt{\frac{f\mu}{R_0 \cdot 10^4}},$$

где f — частота, μ — магнитная проницаемость материала провода. Для медных цепей x=0,0105 $d\sqrt{f}$.

Индуктивность двухпроводной цепи может быть вычислена по ф-ле:

$$L = \left[4 \ln \frac{2a - d}{d} + \mu Q(x) \right] \cdot 10^{-4}\ гн/км,$$

где $Q(x)$ — коэфф., учитывающий зависимость индуктивности от частоты. В среднем индуктивность симметричного кабеля составляет 0,7÷0,8 *мгн/км*. Индуктивность воздушных двухпроводных цветных цепей составляет 1,5÷2 *мгн/км*.

При отсутствии осадков на проводах емкость двухпроводной воздушной цепи

$$C = \frac{1{,}05 \cdot 10^{-6}}{36 \ln \frac{2a}{d}}\ ф/км.$$

Емкость симметричного кабеля может быть рассчитана по ф-ле:

$$C = \frac{\varepsilon \cdot 10^{-6}}{36 \ln \left(\frac{2a}{d} \psi \right)}\ ф/км,$$

где ε — эквивалентная диэлектрич. проницаемость комбинированной изоляции (1,3÷÷2,0), ψ — поправочный коэфф., учитывающий близость проводов к др. проводам и металлич. оболочке (0,6÷0,7). Емкость кабельных цепей 0,025÷0,050 *мкф/км*. Проводимость изоляции кабельных линий пост. току составляет $10^{-9} \div 10^{-10}$ *1/ом·км*. Проводимость изоляции $G = G_0 + G_f$, где G_0 — проводимость изоляции пост. току; G_f — проводимость изоляции перем. току. Обычно $G_f \gg G_0$, поэтому $G = G_f = \omega C \operatorname{tg} \delta$, где $\operatorname{tg} \delta$ — тангенс угла диэлектрич. потерь изоляции; C — емкость кабеля; ω — угловая частота. Проводимость изоляции воздушных цепей зависит от частоты тока и от метеорологич. условий, что в очень сильной степени сказывается на распространении ВЧ энергии. Колебания величины проводимости тем больше, чем выше частота. Так, проводимость изоляции при изморози и гололеде на частоте 100 *кгц* примерно в 50 раз выше, чем на пост. токе. Сопротивление изоляции пост. току 1 *км* провода должно быть не менее $2 \cdot 10^6$ *ом* в сырую погоду.

Вторичные параметры передачи: волновое сопротивление Z_c и постоянная передачи γ характеризуют условия распространения электромагнитной энергии по линиям связи. Эти величины зависят только от первичных параметров линии и от частоты. Волновое сопротивление представляет собой отношение падающей (или отраженной) волны напряжения к падающей (или отраженной) волне тока

$$Z_c = \frac{U_п}{I_п} = \frac{U_о}{I_о}.$$

Численно волновое сопротивление может быть выражено через первичные параметры:

$$Z_c = \sqrt{\frac{R + j\omega L}{G + j\omega C}}.$$

В случае кабельных цепей на частотах до 1000 *гц*, когда $R \gg \omega L$ можно пользоваться приближенной ф-лой:

$$Z_c = \sqrt{\frac{R}{\omega C}} \cdot e^{-i45°}.$$

В случае воздушных линий с медными или биметаллич. проводами на частотах свыше 10 *кгц*, когда $R \ll \omega L$ и $G \ll \omega C$, волновое сопротивление

$$Z_c \approx \sqrt{\frac{L}{C}}.$$

Следует отличать волновое сопротивление цепи Z_c от входного сопротивления $Z_{вх}$. Входное сопротивление цепи

$$Z_{вх} = \frac{U_{вх}}{I_{вх}},$$

где $U_{вх}$ — напряжение на входе цепи; $I_{вх}$ — ток на входе цепи. Входное сопротивление цепи зависит от волнового сопротивления цепи, затухания линии и величины сопротивления нагрузки в конце цепи:

$$Z_{вх}=Z_c\cdot\text{th}\,(n+\gamma l),$$

где $n=\text{arc th}\,\frac{Z_l}{Z_c}$; l — длина цепи. Из ф-лы следует: 1) входное сопротивление линии будет отличаться от волнового сопротивления не более чем на 10%, когда $\gamma l>1{,}5$ при любом значении сопротивления нагрузки Z_l; 2) входное сопротивление линии равняется волновому сопротивлению, когда $Z_l=Z_c$ при любом значении γl.

Постоянная передачи или коэфф. распространения

$$\gamma=\sqrt{(R+j\omega L)(G+j\omega C)}=\beta+j\alpha,$$

где β — коэфф. затухания (километрич. затухание), характеризующий уменьшение напряжения, тока или мощности при распространении электромагнитной энергии вдоль цепи на протяжении 1 *км*; α — коэфф. сдвига фазы (километрич. сдвиг фазы), характеризующий изменение фазы напряжения и тока при распространении электромагнитной энергии вдоль цепи на протяжении 1 *км*.

$$\frac{U_1}{U_2}=\frac{I_1}{I_2}=e^{\gamma l}=e^{\beta l}+e^{j\alpha l},$$

где U_1 и I_1 — напряжение и ток в начале цепи; U_2 и I_2 — напряжение и ток в конце цепи длиной l *км*; e — основание натуральных логарифмов. Т. о., зная параметры передачи, можно рассчитать напряжение и ток в любой точке линии. В лит., в конце ст., приводятся параметры передачи, позволяющие производить все необходимые расчеты.

Взаимное влияние между цепями проявляется в том, что когда по одной цепи передается электромагнитная энергия сигнала, на др. параллельной цепи создается напряжение, наз. напряжением помех. Обычно с ростом частоты величина влияния увеличивается (исключение представляют только коаксиальные кабели), поэтому вопросы влияния имеют первостепенное значение при организации ВЧ связи. При сильном влиянии становится невозможным использование для связи одних и тех же частот на параллельных цепях, что резко сокращает количество передаваемой информации. По мере развития техники совершенствуются методы, уменьшающие взаимное влияние. Величину влияния определяет переходное затухание, характеризующее затухание токов влияния при переходе их с влияющей цепи в цепь, подверженную влиянию. Затухание переходных токов, проявляющееся на том конце цепи, где расположен генератор влияющей цепи, наз. переходным затуханием на ближнем (передающем) конце

$$B_0=0{,}5\ln\left(\frac{P_{10}}{P_{20}}\right),$$

где P_{10} — мощность влияющих сигналов; P_{20} — мощность переходных токов в начало цепи, подверженной влиянию. Затухание переходных токов, поступающих на противоположный конец 2-й цепи, наз. переходным затуханием на дальнем (приемном) конце

$$B_l=0{,}5\ln\left(\frac{P_{10}}{P_{2l}}\right),$$

где P_{2l} — мощность переходных токов в конце цепи, подверженной влиянию. Уменьшение влияния достигается симметрированием и экранированием цепей. Симметрированием наз. мероприятия, проводимые с целью уменьшения взаимных влияний между цепями и помех от внешних источников. Симметрирование может производиться методом скрещивания и методом включения дополнит. элементов. Скрещивание цепей применяется на воздушных и на кабельных линиях связи. Сущность этого метода заключается в компенсации электромагнитных связей одного участка связями др. участка путем прямого соединения проводов этих участков или соединения со скрещиванием. При прямом соединении проводов цепи электромагнитные связи обоих участков складываются, а при скрещивании — вычитаются. Метод симметрирования при помощи дополнит. элементов, применяемый только в симметричных кабелях, заключается в том, что частичные емкости выравниваются подключением дополнит. емкостей при монтаже кабеля.

Лит.: Инженерно-технический справочник по электросвязи. Кабельные и воздушные линии связи, М., 1961; Г у м е л я А. Н. и М а л ы ш е в В. З., Электрические характеристики воздушных и кабельных линий связи, М., 1952; А к у л ь ш и н П. К., К о щ е е в И. А., К у л ь б а ц к и й К. Е., Теория связи по проводам, М., 1940; К о щ е е в И. А., Р е з в я к о в А. П., Основы теории электрической связи и дальняя связь, М., 1961; М и х а й л о в М. И., Влияние внешних электромагнитных полей на цепи проводной связи и защитные мероприятия, М., 1959; Правила строительства и ремонта воздушных линий связи и радиотрансляционных сетей, ч. 1—4, М., 1960—62; Г р о д н е в И. И., К у л е ш о в В. Н., С о к о л о в В. В., Кабельные линии связи, М., 1960. *Р. А. Израиль.*

ЛИНИЯ ЗАДЕРЖКИ (delay line; ligne à retard; Verzögerungsleitung) — устройство для задержки проходящих через него сигналов. 1. Э л е к т р и ч е с к а я Л. з. вызывает запаздывание выходного сигнала вследствие конечной скорости распространения электромагнитной волны вдоль линии. Электрич. Л. з. обеспечивают время задержки от долей *мксек* до 10 *мксек*, со стабильностью обычно составляющей ок. 1% от самого времени задержки. Для неискаженной передачи электрич. сигналов сложной формы Л. з. должна обладать определенной шириной полосы пропускания частот и линейной фазовой характеристикой.

Принципиально наиболее простой электрич. Л. з. является *длинная линия*, обладающая бесконечной шириной полосы пропускания и линейной фазовой хар-кой. Время распространения электромагнитной энергии вдоль линии (время задержки) $t_{зад}=l/v$, где l — длина отрезка линии, а v — скорость распространения энергии вдоль линии. В воздушной длинной линии $v=300\,000$ *км/сек* и поэтому для получения задержки в одну *мксек* требуется отрезок линии в 300 *м*. Но такая Л. з. будет очень громоздкой. На практике для небольших значений времени задержки (долей *мксек*) применяются отрезки линий с диэлектрич. заполнением между проводниками (обычно *коаксиальные линии*), где скорость распространения электромагнитной энергии меньше, чем в воздухе, или же *длинные линии искусственные* (с распределенными или сосредоточенными постоянными). Длительность времени задержки коаксиального кабеля длиной l составляет $t_{зад}=0{,}33\cdot10^{-10}\,l\sqrt{\varepsilon}$ сек., где ε — диэлектрическая постоянная среды между проводниками. У кабеля с полиэтиленовой изоляцией $\varepsilon=2{,}5$ и время задержки составляет 1 *мксек* на 200 *м* длины кабеля. У искусств. Л. з. с сосредоточенными постоянными время задержки $t_{зад}=n\sqrt{LC}$, где n — число ячеек, а L и C — индуктивность и емкость каждой ячейки. Электрич. линии не дают возможности получения больших значений времени задержки из-за невозможности значительного снижения скорости распространения сигналов вдоль линии при сохранении ее широкополосности.

Л. з. получили широкое распространение в импульсной технике для синхронизации колебаний, генерирования электрич. импульсов (см. *Генератор импульсов*), в системах кодирования и декодирования импульсов в вычислительных устройствах, а также в технике непрерывных колебаний для осуществления фазовых задержек синусоидальных колебаний. В измерит. технике Л. з. применяются при исследованиях процессов при помощи аппаратуры со ждущими временными развертками.

Лит.: 1) Детали и элементы радиолокационных станций, пер. с англ., т. 1, М., 1925; 2) Генерирование электрических колебаний специальной формы, пер. с англ., М., 1951. *Ю. Б. Любченко.*

2. Л и н и я з а д е р ж к и д л я А В М имеет один вход и n выходов, k-й выходной сигнал $U_{вых_k}$ этого устройства повторяет форму входного сигнала $U_{вх}$ со сдвигом во времени на интервал τ_k: $U_{вых_k}=U_{вх}(t-\tau_k)$.

Когда Л. з. предназначена для АВМ без периодизации решения, τ_k может изменяться в диапазоне 0,005—50 сек. Л. з. простейшего типа представляет собой последоват. соединение пассивных *RC*- или *LC*-звеньев, которые могут быть разделены буферными катодными повторителями или усилителями. Осн. недостаток такой Л. з. — малая величина времени задержки τ_k. Л. з. другого типа составляется из цепочки последовательно соединенных запоминающих ячеек (ЗЯ), разделенных релейными или электронными ключами. В качестве ЗЯ может быть использован либо катодный повторитель с конденсатором на входе (рис. 1), либо операц. усилитель, работающий

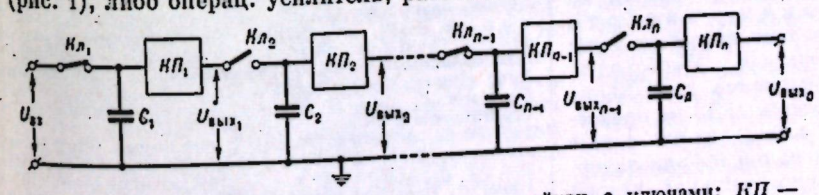


Рис. 1. Линия задержки на запоминающих ячейках с ключами: *КП* — катодные повторители; *Кл* — ключи; *С* — запоминающие конденсаторы.

в режиме инерционного звена. Принцип действия такой Л. з. заключается в следующем. При одновременном замыкании всех четных ключей происходит передача сигнала с нечетных ЗЯ на последующие четные, а при замыкании нечетных ключей — с четных ЗЯ на нечетные. В результате осуществляется принудит. распространение входного сигнала вдоль Л.з. Таким обр., если все ключи срабатывают от управляющего сигнала одной полярности, причем на четные ключи подан синусоидальный управляющий сигнал $U_{упр}\sin\frac{\pi}{\tau}t$, а на нечетные — $U_{упр}\sin\left(\frac{\pi}{\tau}t+\pi\right)$, то сигнал на выходе k-й ЗЯ имеет ступенчатую форму, соответствующую входному сигналу, и сдвинут во времени относительно входного сигнала на $(k-1)\,\tau$.

Осн. области применения Л. з. для АВМ: 1) воспроизведение пост. или управляемого запаздывания; в последнем случае для Л. з. первого типа должна быть предусмотрена возможность изменения ее параметров, а для Л. з. второго типа — возможность изменения частоты управляющего сигнала в зависимости от внешнего сигнала [1]; 2) синтезирование переходной ф-ции системы автоматич. управления или ее части путем суммирования (с соответствующими коэфф.) выходных сигналов Л. з. При этом наиболее целесообразно применять неравномерную Л. з. (с некратными величинами τ_k [2]); 3) моделирование элементов дискретных систем и решение разностных ур-ний [3].

Лит.: 1) Д о г а н о в с к и й С. А., И в а н о в В. А., Блоки регулируемого запаздывания, М.— Л., 1960; 2) Г у д м а н Т. П., Теория и применение синтезатора, выполненного в виде неравномерной электронной линии задержки, в кн.: Тр. I Международного Конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т. 4], М., 1961; 3) W a d e l L. B., Simulation of digital filters on an electronic analog computer, «J. Assoc. Comput. Machinery», 1956, v. 3, № 1. *Ж. А. Новосельцева.*

3. В у л ь т р а з в у к о в о й Л. з. электрич. колебания, поданные на ее вход, преобразуются в механич. колебания УЗ частоты, распространяющиеся в звукопроводе со скоростью, примерно в 10^5 раз меньшей скорости распространения электрич. колебаний. На выходе линии механич. колебания снова преобразуются в электрич. Т. о., величина задержки электрич. сигнала определяется временем распространения в звукопроводе механич. УЗ колебаний. Применяются в качестве ЗУ в вычислит. машинах, а также в радиолокационной аппаратуре в тех случаях, когда необходимо значительное время задержки сигнала (от единиц до неск. тысяч *мксек*). Преобразование электрич. колебаний в УЗ на входе линии и обратное преобразование на выходе ее осуществляются обычно *пьезоэлектрическими преобразователями* или *магнитострикционными преобразователями*. Принято линии с пьезоэлектрическими преобразователями наз. УЗ линиями задержки (УЛЗ), линии с магнитострикц. преобразователями — магнитострикц. линиями задержки (МЛЗ).

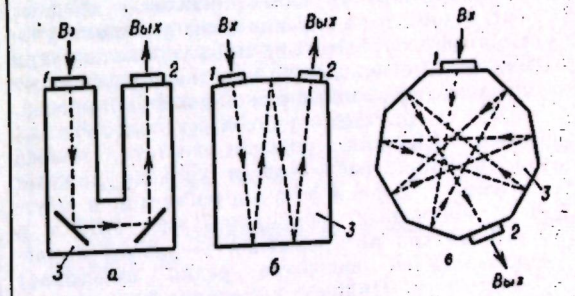


Рис. 2. Схема ультразвуковой линии задержки со звукопроводом: *а* — из ртути; *б* — из магниевого сплава; *в* — из кварца или монокристалла.

УЛЗ (рис. 2, *а*, *б*, *в*) состоит (схематич.) из входного *1* и выходного *2* пьезопреобразователей и звукопровода *3*. Пьезопреобразователи (преимущественно пластинки из кристаллич. кварца или из керамики титаната бария) закрепляются на концах звукопровода. Звукопроводы УЛЗ изготовляются чаще всего из ртути, плавленого кварца и магниевых сплавов, а также из монокристаллов NaCl, KCl, германия и др. Для увеличения задержки при сохранении габаритов УЛЗ расстояние, проходимое в звукопроводе УЗ, увеличивается за счет многократных отражений последнего на пути от входа линии к ее выходу (пунктир на рис. 2, *а*, *б* и *в*).

В МЛЗ (рис. 3) входная и выходная катушки надеваются на звукопровод *в*, изготавливаемый, как правило, из никеля в виде ленты,

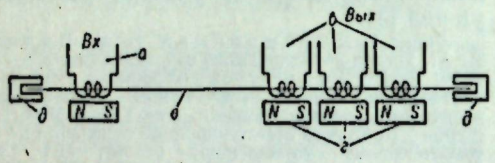


Рис. 3. Схема магнитострикционной линии задержки: *а* — входная (передающая) катушка; *б* — выходные (приемные) катушки; *в* — звукопровод; *г* — магниты; *д* — поглощающие насадки.

проволоки или трубки. Магниты *г* создают пост. магнитные поля поляризации вдоль участков звукопровода *в*, проходящих внутри катушек; поглощающие насадки *д* уменьшают сигналы, отраженные от концов звукопровода.

Осн. параметры ультразвуковых Л. з.: время задержки, рабочая частота, полоса пропускания, затухание и уровень ложных сигналов. Время задержки в ртутных, кварцевых, монокристаллич. УЛЗ и в МЛЗ обычно не превышает 4—5 *мсек*; в магниевых УЛЗ задержка редко превышает 1—1,5 *мсек*. Плавное изменение времени задержки возможно как в ртутных УЛЗ, так и в МЛЗ. В последних его проще осуществить; кроме того, в МЛЗ легко обеспечить значит. число отводов (выходов) с различными временами задержки. Время задержки при изменении темп-ры линии на 1°С изменяется на 0,01%—0,03%. Рабочая частота УЛЗ 8—30 *Мгц*; она зависит от резонансной частоты пьезопреобразователя. Непосредственная задержка видеосигналов в УЛЗ не применяется. Рабочая частота МЛЗ не превосходит 1—3 *Мгц*. МЛЗ используются также и для задержки видеосигналов (форма задержанного видеосигнала соответствует второй производной). Полоса пропускания ультразвуковых ЛЗ определяется преимущественно добротностью преобразователей. Уменьшение добротности для расширения полосы пропускания линии требует согласования механич. параметров материалов преобразователей и звукопровода (в УЛЗ с твердым звукопроводом — путем подбора толщины и материала промежуточного слоя, скрепляющего пьезопластинку со звукопроводом). В ртутных, кварцевых и монокристаллич. линиях легко достижима полоса порядка 5—10 *Мгц*, в магниевых линиях — полоса, как правило, не превышает 3—4 *Мгц*. В МЛЗ верхняя граница полосы не выше 1—2 *Мгц*. При задержке ВЧ сигнала ширина полосы ок. 0,5—0,7 *Мгц*. Расширение полосы пропускания всего канала задержки (включая усилитель) возможно за счет компенсации пологих спадов на краях частотной хар-ки линии подъемом на соответствующих участках хар-ки усилителя. Затухание сигнала, оцениваемое отношением эдс на выходе линии к напряжению на ее входе в зависимости от времени задержки, конструкции и материала звукопровода и др., составляет от 30 до 80 *дб*. Затухание в УЛЗ складывается из потерь на двукратное механич. преобразование на входе и выходе линии (20—40 *дб*) и из потерь в звукопроводе. В МЛЗ затухание, определяемое гл. обр. потерями на преобразование, как правило, 40—60 *дб*. Уровень ложных сигналов (УЛС) оценивается выраженным в % отношением амплитуды наибольшего из ложных сигналов к амплитуде задержанного сигнала. Ложные сигналы возникают в УЛЗ гл. обр. вследствие отклонений УЗ луча в звукопроводе от заданного направления, в МЛЗ — из-за отражений от концов звукопровода. В ртутных, кварцевых и монокристаллич. линиях УЛС обычно менее 5%, в магниевых линиях — порядка 5—10% и в МЛЗ — 10—20%. Габариты ртутных линий (звукопровод к-рых собирается из стальных труб, наполняемых ртутью) примерно равны 0,5×0,5×1 *м*, их вес более 10—15 *кг*; объем линий с твердыми звукопроводами ок. 500 *см*³, вес этих линий ок. 1—2 *кг*.

Для включения ультразвуковых Л. з. обычно используются устройства: на входе линии, в случае задержки видеосигнала (в УЛЗ) или сигнала ВЧ с частотой, не равной рабочей частоте линии, включаются модулятор или гетеродин и смеситель, преобразующие задерживаемый сигнал в высокочастотный сигнал необходимой частоты. На выходе линии включаются: усилитель, компенсирующий затухание в линии, а также детектор или смеситель для восстановления соответственно формы или частоты задерживаемого сигнала, если на входе линии имело место его преобразование.

Лит.: Генерирование электрических колебаний специальной формы, пер. с англ., т. 2, М., 1951; Александров К. С., Гуревич Л. С., Каменский Е. Н., О влиянии промежуточного слоя на частотные характеристики ультразвуковых линий задержки, «АЖ», 1960, т. 6, вып. 2; Ровчаров К. В., К теории пьезопреобразователей, там же, 1958, т. 4, вып. 1; Вако В. Н., Усовершенствованные ультразвуковые задерживающие линии, «Вести. информаций», 1950, № 12 (80); Рабинович Г. В., О полосе пропускания магнитострикционной линии задержки, «Р-ка», 1959, т. 14, № 2; Arenberg D., Ultrasonic delay lines, «Convent. Rec. I.R.E.», 1954, pt. 6; Mobbs R., Darr J., Grimsley J., Metal ultrasonic delay lines, «J. Res. Nat. Bur. Standards», 1953, v. 51, № 5; Bradburd E. M., Magnetostrictive delay line, «Electr. Commun.», 1951, v. 28, № 1. *А. Г. Соколинский.*

ЛИНИЯ ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ (switching line; ligne de commutation; Umschaltleitung) — линия на фазовой плоскости, определяющая границу, на которой происходит смена линейных ур-ний, описывающих движение нелинейной системы с кусочно-линейными хар-ками. В случае, если аргумент нелинейной ф-ции линейно

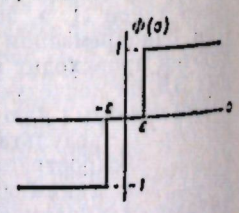


Рис. 1.

зависит от координат x и ее производной $\dot{x}$, Л. п. является прямой. Рассмотрим, напр., фазовую плоскость $(x, \dot{x})$ системы $A\ddot{x}+B\dot{x}=-(\Phi(\sigma),$

$\sigma=x+\beta\dot{x}$ с нелинейной хар-кой (рис. 1). Нелинейное ур-ние распадается на три линейных:

$$A\ddot{x}+B\dot{x}=-1 \text{ при } \sigma\geqslant\varepsilon,$$
$$A\ddot{x}+B\dot{x}=0 \text{ при } |\sigma|<\varepsilon,$$
$$A\ddot{x}+B\dot{x}=1 \text{ при } \sigma\leqslant-\varepsilon.$$

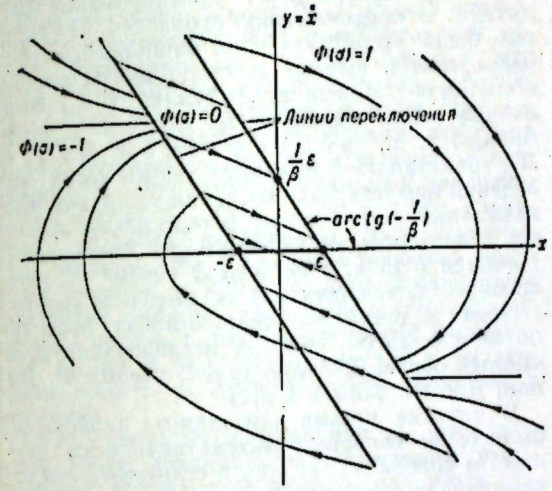


Рис. 2.

На линиях $\sigma=\pm\varepsilon$ происходит смена вида движения системы. Л. п. на фазовой плоскости (рис. 2) определяются ур-нием:

$$\sigma=x+\beta\dot{x}=\pm\varepsilon$$

или

$$\dot{x}=-\frac{1}{\beta}x\pm\frac{1}{\beta}\varepsilon.$$

В. Ю. Рутковский.

ЛОВУШКИ в полупроводниках (semiconductor snares; pièges de semi-conducteurs; Haftstelle in Halbleitern, Fangstelle in Halbleitern) — см. *Рекомбинация носителей заряда.*

ЛОГАРИФМИРУЮЩАЯ СХЕМА (logarithmiccomputing circuit; circuit de calcul de logarithmes; logarithmische Schaltung) — схема, выдающая на выходе сигнал, пропорц. логарифму входного сигнала. Наиболее распространенная Л. с. — схема на пентоде с удлиненной хар-кой, работа к-рой основана на логарифмич. зависимости анодного тока от напряжения на управляющей сетке U_c. В этом случае напряжение на анодной нагрузке лампы U_a оказывается пропорц. логарифму входного сигнала $U_a=f(\ln U_{вх})$. Соответствие логарифмич. закону и др. параметры Л. с. сильно зависят от разброса ламповых хар-к; качество Л. с. определяется испытанием на смену ламп.

Лит.: Сифоров В. И., Радиоприемные устройства, 5 изд., М., 1954. *Е. Ю. Намиот.*

ЛОГАРИФМИЧЕСКИЕ ЕДИНИЦЫ УСИЛЕНИЯ И ОСЛАБЛЕНИЯ (logarithmic gain and attenuation; gain et atténuation logarithmiques; logarithmische Verstärkungs- und Dämpfungseinheiten) — относит. единицы измерения, представляющие собой логарифм отношения двух сравниваемых между собой величин (мощностей, напряжений, токов, звуковых давлений). Целесообразность введения Л. е. у. и о. для характеристики величин усиления и ослабления определяется физич. смыслом и удобством применения. В акустике, напр., слуховое восприятие звука в известных пределах пропорц. десятичному логарифму звукового давления. Величину затухания электрич. колебаний целесообразно выражать натуральным логарифмом измеряемых величин, т. к. этот процесс протекает по экспоненциальному закону ($\varepsilon^{-\delta x}$). К Л. е. у. и о. относятся непер (*нп*), бел (*б*) и децибел (*дб*).

Непер (по имени шотландского математика 17 в. Дж. Непера) применяется в основном для измерения ослабления электрич. сигналов в телеграфии и телефонии (гл. обр. в США и Англии). Непер определяется натуральным логарифмом отношения измеряемых величин:

$$L_{нп}=\frac{1}{2}\ln\frac{P_1}{P}=\ln\frac{I_1\sqrt{R_1}}{I\sqrt{R}}=\ln\frac{U_1\sqrt{R}}{U\sqrt{R_1}},$$

т. к. $P=I^2R=\frac{U^2}{R}$.

Если сопротивление нагрузки не меняется ($R=R_1$), то $L_{нп}=\ln\frac{I_1}{I}=\ln\frac{U_1}{U}$.

Ослабление электрич. величины (напряжения или тока) на $n_{нп}$ соответствует ее уменьшению в e^n раз; 1 *нп* соответствует ослаблению напряжения или тока в 2,718 раза и ослаблению мощности в 7,39 раза.

На практике удобнее пользоваться не натуральным, а десятичным логарифмом, поэтому основное распространение получили единицы бел и децибел. Бел (по имени амер. изобретателя А. Белла) представляет собой десятичный логарифм отношений:

$$L_б=\lg\frac{P_1}{P}=2\lg\frac{I_1\sqrt{R_1}}{I\sqrt{R}}=2\lg\frac{U_1\sqrt{R}}{U\sqrt{R_1}}.$$

Если сопротивление нагрузки не меняется ($R=R_1$), то

$$L_б=\lg\frac{P_1}{P}=2\lg\frac{I_1}{I}=2\lg\frac{U_1}{U}.$$

Усиление (или ослабление) электрич. (или акустич.) мощности на 1 *б* соответствует ее увеличению (уменьшению) в 10 раз, а усиление (ослабление) электрич. напряжения, тока или акустич. давления на 1 *б* соответствует увеличению (уменьшению) этих величин в 3,162 раза. При $P_1>P$ логарифм отношения мощностей положителен, что соответствует усилению, а при $P_1<P$ — логарифм отрицателен, что соответствует ослаблению. В акустике бел определяется как разность уровней звуковых мощностей, десятичный логарифм к-рых равен единице. На практике чаще употребляется децибел (*дб*), 1 *дб* = 0,1 *б*.

$$L_{дб}=10\lg\frac{P_1}{P}=20\lg\frac{I_1}{I}=20\lg\frac{U_1}{U}$$

(при $R=R_1$).

Ряд соотношений между относит. изменением величин мощности и напряжения (тока) и его выражением в *дб* приведен в табл.:

$L_{дб}$	1	2	3	10	13	20	30	40	50
Отношение P_1/P	1,26	1,59	2	10	20	100	10^3	10^4	10^5
Отношение U_1/U; I_1/I	1,12	1,26	1,41	3,16	4,47	10	31,6	100	316

В радиотехнике изменение электрич. мощности иногда выражают по отношению к мощностям, условно принимаемым за начало отсчета, равным 1 *вт* и 1 *мвт*, и обозначают, соответственно, *дбв* и *дбм*.

Между всеми Л. е. у. и о. имеется прямая зависимость:

$$1\ нп = 8{,}68\ дб;\quad 1\ дб = 0{,}115\ нп.$$

Лит.: Данилов Н. И., Единицы измерений, М., 1961; Гинкин Г. Г., Логарифмы, децибелы, децилоги, М.— Л., 1962. *А. П. Шпаков.*

ЛО́ГИКА (logic; logique; Logik) — совокупность научных теорий и философских концепций, в к-рых рассматриваются процессы рассуждения с т. зр. их способности служить средством открытия и доказательства истинных суждений, выражающих знания людей о процессах, фактах, закономерностях и т. п., имеющих место в разл. областях реальной действительности; система исчислений, выражающих способы выведения одних истинных высказываний из других, вместе с теорией таких исчислений и их приложений в науке и технике. Термин «Л.» (вместе с соответствующими определяющими словами) употребляется и для обозначения отдельных частей Л. в широком смысле («вероятностная логика», «логика классов» и т. п.); термином «Л.» также обозначают самую связь мыслей, обеспечивающую выведение одних суждений из других (в этом смысле говорят о Л. мышления, в отличие от Л. как науки).

Первые учения Л. возникли в древности (Греция, Индия). Важнейший вклад в становление Л. как самостоят. науки внес др.-греч. философ Аристотель (4 в. до н. э.). Он явился основоположником формальной Л., к-рая рассматривает познающее мышление с т. зр. его логич. формы (строения, структуры). Отправной точкой в построениях формальной Л. является тот факт, что мысли, различающиеся конкретным содержанием, могут быть облечены в одну и ту же форму. Так, различные по своему содержанию высказывания: «Все аккумуляторы — источники электрич. тока» и «Все квадраты — прямоугольники», имеют одну и ту же логич. форму — форму утверждений всеобщего характера. Из одних высказываний с помощью умозаключений выводятся др. высказывания. Примером умозаключения может служить следующее рассуждение: «Все металлы — электропроводны; нек-рые металлы являются жидкостями; следовательно, нек-рые жидкости электропроводны» (это умозаключение по своей форме относится к числу т. н. категорич. силлогизмов, теорию к-рых создал Аристотель). Если в этом умозаключении заменить понятия «металлы», «жидкости», «электропроводны», соответственно, понятиями «углеводороды», «газы», «органич. соединения», мы получим умозаключение иного содержания, но той же формы. В языке существует много слов и оборотов, служащих для выражения логич. формы: «если ..., то», «или», «и», «только», «не» и т. д.; в рассмотренных выше примерах для этой цели использовались слова «все», «нек-рые», «следовательно», «являются». Логич. обоснование истинности (доказательство) высказываний протекает в форме логических выводов, опирающихся на истинные исходные высказывания (посылки) и представляющих собой последовательности умозаключений; заключение последнего умозаключения в доказательстве и есть обосновываемое суждение. Основы учения о доказательстве заложил Аристотель, рассматривающий Л. как науку о средствах обоснования истины.

После Аристотеля над вопросами Л. работали представители античной филос. школы стоиков и др. древнегреч. и древнеримские мыслители. В средневековой схоластич. Л. впервые была выдвинута идея машинизации процесса логич. вывода и предприняты первые попытки ее реализации (Р. Луллий, 13 в.). Описанные этапы развития Л. привели к оформлению т. н. дедуктивной Л., т. е. Л., трактующей о правилах такого логич. выведения нек-рых высказываний из других высказываний, к-рое носит необходимый характер и не порождает обобщающих заключений. Начиная с 16 в. в Л. вошло учение об обобщающих (т. н. индуктивных) умозаключениях, выводах и доказательствах, о логич. роли гипотез и о логич. методах исследования причинных связей явлений (англ. ученые Ф. Бэкон, Дж. Ст. Милль и др.).

В течение весьма длительного периода Л. была слабо связана с математикой и др. науками и совсем не связана с техникой. Это ограничивало возможности ее развития. В конце 18 — нач. 19 вв. (особенно после трудов нем. философа И. Канта, утверждавшего, что формальная Л. имеет заверш. характер и не способна к дальнейшему развитию) произошла своеобразная канонизация учения Аристотеля о силлогизмах и др. учений формальной Л., развившихся вне связи с методами математики. Эта логика получила название традиционной формальной Л. Она представляет собой соединение нек-рых вопросов филос. характера с рассмотрением узкого числа собственно формально-логич. проблем, многие из к-рых были скорее угаданы, чем на самом деле раскрыты. Традиционная Л., до сих пор излагаемая в руководствах по логике для гуманитарных специальностей, не основана на строгой теории и точных методах, носит описат. характер и имеет весьма огранич. возможности приложений.

Параллельно с традиционной Л., начиная с 17 в., шло развитие математической Л. (об этом см. *Логика математическая*). Методы Л. стали широко применяться при анализе математич. доказательств и изучении строения математич. теорий, а также при анализе теорий и понятий физики и др. естеств. наук. В 1930-х гг. возникают и затем получают бурное развитие технич. приложения Л. — сначала в форме теории контактных электрич. схем, а затем, с конца 1940-х гг.,— в рамках теории математич. машин и автоматов. В ЦВМ, в управляющих и информац. машинах имеются обычно устройства, моделирующие осн. логич. операции. Средства Л. используются для анализа и синтеза схем автоматов. Быстро расширяется сфера приложений математич. Л. в гуманитарных науках (лингвистика, психология, экономич. науки, юриспруденция, обучающие машины и др.). В результате математич. Л. переросла рамки Л., ориентированной лишь на удовлетворение теоретич. потребностей математики, и превратилась в совр. форму формальной Л. вообще. Для выражения этого характера совр. математич. Л. и для подчеркивания ее отличия от описательной (традиционной) формальной Л. ее наз. часто теоретической формальной Л., или просто теоретической Л.

Вокруг вопросов философского истолкования понятий и теорий Л. издавна происходила борьба между идеализмом и материализмом. Возникновение и развитие философии марксизма — диалектич. и историч. материализма — привело к решительному опровержению идеалистич. установок в области Л. и дало последней прочную методологич. и мировоззренч. основу. Диалектич. материализм показал, что формы и законы мышления не пустые оболочки, а отражение объективного мира, что они возникли из многовековой обществ. практики людей. «Законы логики суть отражения объективного в субъективном сознании человека» (Ленин В. И., Соч., т. 38, с. 174); «практика человека, миллиарды раз повторяясь, закрепляется в сознании человека фигурами логики» (там же, с. 209). Методология диалектич. материализма позволяет правильно оценить познават. значение теоретич. формальной логики и ее взаимоотношения с различными естеств. и гуманитарными науками и техникой.

Совр. теоретич. формальная Л. представляет собой совокупность исчислений, выражающих (формализующих) те или иные стороны структуры научных рассуждений и доказательств (логич. исчисления); применение этих исчислений для формализации содержания определ. областей знания порождает т. н. прикладные исчисления, из к-рых наиболее разработанными являются логико-математич. исчисления, служащие для выражения на точном языке знаков нек-рых разделов математики (особенно арифметики). Помимо самих этих исчислений, в теоретич. Л. входит их теоретич. изучение, а также рассмотрение их практич. приложений, особенно в технике.

Ядро теоретич. формальной Л. составляет Л. высказываний и Л. предикатов. В логике высказываний (исчислении высказываний) высказывания не подвергаются анализу глубже, чем на элементарные высказывания; последние не анализируются и рассматриваются в целом; при этом отвлекаются от всякого содержания высказываний за исключением их св-ва быть либо истинными, либо ложными. Л. высказываний в ее алгебраич. построении (*алгебра логики*) является той частью Л., к-рая имеет наибольшие приложения в технике (в теории схем релейного действия, в теории конечных автоматов, в теории математич. машин и т. д.). Л. высказываний изоморфна Л. (или исчислению) классов. В Л. предикатов анализ доводят до понятий (понятий о св-вах и отношениях), входящих в состав высказываний. Л. (или исчисление) предикатов, т. е. Л. св-в и отношений, является развитием Л. высказываний и включает в себя последнюю как составную часть. Если в Л. предикатов ограничиваются рассмотрением т. н. одноместных предикатов (т. е. свойств), то получающееся при этом исчисление оказывается эквивалентным Л. классов (исчислению классов), к к-рому присоединены средства Л. высказываний. Средств Л. одноместных предикатов достаточно для формализации всей теории категорич. силлогизмов Аристотеля; однако его недостаточно для формализации многих научных теорий, в частности математических. Уже логич. формализация арифметики натур. чисел требует исчисления предикатов, содержащего средства для выражения отношений. С исчислением предикатов связана осн. проблематика теоретич. Л. Исчисление предикатов также имеет связи с техникой, хотя и менее богатые, чем Л. высказываний; эти связи состоят, в частности, в применении Л. предикатов к теории логич. сетей и конечных автоматов.

Обычные исчисления высказываний и предикатов строятся в предположении, что каждое высказывание либо истинно, либо ложно, и притом только одно из двух. Л., в к-рой высказывания могут принимать одно и только одно из двух т. н. значений истинности (истинностных значений) — истинность, ложность, наз. двузначной логикой. Обобщением двузначной Л. являются различные системы многозначной и бесконечнозначной Л. В *логике многозначной* каждое высказывание может принимать одно и только одно из n значений (n=3,4, 5, ...); так получаются трехзначные, четырехзначные и т. д. Л. В бесконечнозначной Л. каждое высказывание рассматривается принимающим одно из бесконечного множества значений. Многозначные Л. получают все бо́льшие применения в кибернетике (в теории автоматов).

Одной из областей совр. Л. является раздел, в к-ром осуществляется формализация таких понятий, как необходимость, возможность, случайность и нек-рые другие т. н. модальные понятия (см. *Логика модальная*). Указанные области Л. являются развитием или обобщением той проблематики, к-рая в традиц. Л. группировалась в ее дедуктивном разделе. Средства исчисления высказываний, исчисления предикатов и модальной Л. позволяют полностью получить все результаты дедуктивного раздела традиц. Л., к-рый с совр. т. зр. представляет собой небольшой фрагмент указанных логич. исчислений.

С другой частью традиц. Л. — с учением об индукции и гипотезе — тематически связаны вероятностная и совр. индуктивная Л., развивающиеся гл. обр. с 1930-х гг. Осн. задачей вероятностной Л. является оценка правдоподобия высказываний (оценка степени подтверждения гипотез, оценка вероятности их истинности) на основании знания правдоподобия нек-рых др. высказываний, определ. образом связанных с данными. Вероятностная Л. имеет тесное взаимодействие с математической теорией вероятностей и широко пользуется аппаратом последней. Применение вероятностной Л. к задаче выведения общих заключений из результатов единичных наблюдений и экспериментов превращает ее в совр. форму индуктивной Л. Вероятностная и совр. индуктивная Л. применяются при решении задач, относящихся к построению автоматов, моделирующих выработку общих понятий и осуществление обобщающих выводов.

С теоретич. Л. тесно связана (и обычно считается ее частью) алгоритмов теория, через к-рую пролегает одна из важнейших линий связи Л. с техникой (см. *Алгоритм*, *Тьюринга машина*).

Технич. и иные приложения Л. породили целый ряд логич. и логико-математич. дисциплин, основанных на алгебраич., теоретико-множественных, топологич. и иных методах, использующих идеи и средства теории алгоритмов и относящихся уже непосредственно

к проблематике кибернетики. Таковы упоминавшиеся выше *релейно-контактных схем теория*, теория логич. сетей, теория *конечных автоматов*, теория *нервных сетей* и др. (см. также *Логика пороговая*, *Логика мажоритарная*).

Многообразие совр. логич. теорий и рассматриваемых в них исчислений (о понятии исчисления см. *Логика математическая*) отражает многообразный характер тех областей знания, к-рые в настоящее время предъявляют требования к уточнению применяемых в них логич. средств. Это особенно касается прикладных логич. и логико-математич. теорий и исчислений. Теории такого рода, формализуя определ. виды или аспекты рассуждений людей, отражают вместе с тем в той или иной степени и форме содержат. характер тех областей действительности, на познание к-рых они ориентированы. Этим, в частности, объясняется большое разнообразие порожденных запросами техники логич. теорий и исчислений. Др. причина этого разнообразия — возможность различных способов логич. формализации одной и той же области знания или техники; основанием для предпочтения одного такого способа перед др. являются соображения, связанные с тем, насколько хорошо данная логич. теория или исчисление отражает содержание формализуемой области знания, в какой мере с помощью этой теории удается решать важные с практич. т. зр. задачи (относящиеся, напр., к надежности автомата, минимизации числа элементов релейной схемы и т. п.).

Многообразие логич. теорий делает необходимым подход к ним с нек-рых общих т. зр. Один из таких подходов связан с различением: 1) исчислений как определ. знаковых систем, строящихся из материальных (обычно графических) конструкций — ф-л, термов и др. знаков, с к-рыми не связывают к.-л. значений (исчисление как синтаксич. система), и 2) содержательных интерпретаций исчислений, т. е. системы тех объектов (быть может и абстрактных), к-рые являются значениями указанных знаковых конструкций (семантика исчисления). Изучение отношения между исчислением как синтаксич. системой и его содержательными интерпретациями составляет задачу логической семантики — раздела Л., к-рый развивается гл. обр. начиная с 1930-х гг. В логич. семантике изучаются такие понятия, как понятие смысла (более общее, значения) языковых выражений (слов и предложений естеств. языков, ф-л и др. знаков логич. исчислений и т. п.), синонимии (т. е. равенства смыслов), отношения обозначения предмета именем, истинности (в применении к логич. исчислениям) и др. Благодаря логич. семантике Л. установила тесные связи с семиотикой — наукой о знаках и системах знаков, об их значении и смысле, а также об их употреблении в общении людей, в технике и т. д. Логич. семантика и семиотика утвердили взгляд на интерпретированные логич. исчисления как на искусств. формализованные языки, приспособленные для формулирования и решения логич. проблем научного познания и практики. Аспект Л., вытекающий из исследований в области логич. семантики и семиотики, приобрел в настоящее время значение в связи с работами по созданию искусств. машинных и логико-информац. языков (см. *Машинный язык*), с работами по *машинному переводу* и *лингвистике математической*.

Др. общий подход к логич. теориям связан с выявлением тех абстракций (способов абстрагирования), с помощью которых вводятся в рассмотрение объекты Л. и математики. В качестве таковых обычно выделяют абстракцию отождествления (к-рая состоит в установлении отношения различия и одинаковости среди рассматриваемых предметов и в последующем отождествлении одинаковых предметов), а также абстракции потенциальной осуществимости и актуальной бесконечности (согласно А. А. Маркову, смысл первой из указ. абстракций состоит в отвлечении от реальных границ наших конструктивных возможностей, обусловленных ограниченностью нашей жизни в пространстве и времени; вторая заключается в отвлечении от незавершенности и незавершимости процесса образования бесконечного множества). Абстракции потенциальной осуществимости и актуальной бесконечности позволяют вводить в рассмотрение в науке конечные конструкции произвольных размеров и такие своеобразные объекты, как бесконечные множества. С нач. 20 в. развернулись дискуссии по вопросу о допустимости в Л. и в математике идеи актуальной (т. е. законченной, завершенной, целиком доступной обозрению) бесконечности и применения к бесконечным множествам нек-рых логич. принципов (в частности, закона исключенного третьего), оправдывающих себя в области конечного. Они привели к разделению т. н. классической и неклассической (интуиционистской, конструктивной и иной) Л. и математики. Технич. приложения Л. пролили новый свет на абстракцию отождествления (выявив трудности, возникающие при машинизации процессов различения и отождествления объектов) и абстракцию потенциальной осуществимости (обнаружив, что при приложении Л. к вопросам, связанным с конечными автоматами, средства Л. во многих случаях следует применять так, чтобы не использовать эту абстракцию).

Потребности технич. приложений Л. и разработка логич. основ машинной математики и техники заставляют вступать на путь введения в теорию автоматов и математич. машин различных уровней абстракций, начиная с уровня, на котором исследование идет исключительно (или почти исключительно) средствами Л. и математики, и кончая уровнем, на к-ром рассматриваются технич. реализации, строящиеся с использованием электронной, электромеханич. и иной аппаратуры.

В конечном счете связь Л. с техникой основана на том, что Л. представляет в распоряжение техники точные языки, с помощью к-рых становится возможным четкое описание работы автомата, точная поставка задач и формулировка путей их решения, строгое выражение закономерностей процесса, моделируемого с помощью автомата. По мере того, как все новые области знания переходят к использованию теоретич. Л., они вступают в связь с кибернетикой и ее технич. средствами, используемыми для решения возникающих в них научных и практич. задач. Этот процесс стимулирует развитие старых и создание новых разделов Л.; в частности, он обещает сделать актуальными такие находящиеся в настоящее время на окраинах Л. области, как Л. причинности и теория определений. Следует, наконец, отметить, что совр. формальная Л. начинает находить все более непосредственное применение для анализа мыслит. процессов людей, что приобретает важное значение в связи с работами по автоматизации различных форм умств. труда, по выявлению оптим. условий взаимодействия человека и автомата, по разработке информационно-логич. машин и вообще по автоматизации процессов переработки информации в науке, по применению кибернетики в теории обучения и т. п.

С вопросами приложений Л. в науке и технике связан ряд филос. вопросов, к-рые входят в диалектич. Л. и теорию познания диалектич. материализма. В диалектич. Л. рассматриваются общие диалектич. закономерности познания действительности человеком, хода развития науки, процесса научных открытий и обоснования знаний людей об окружающем их реальном мире; в ней раскрывается отношение логич. выводов и доказательств к опытным данным, взаимоотношение теории и практики. Диалектич. Л. изучает закономерности мышления, выражаемые осн. законами диалектич. материализма (поскольку последние распространяются не только на природу и общество, но и на область человеч. познания),— такими, напр., как закон единства и борьбы противоположностей или закон перехода количеств. изменений в качественные,— а также категориями материалистич. диалектики и теории познания марксизма (причинность, возможность и действительность, необходимость и случайность, тождество и различие, объективная истина и др.). Важными методологич. принципами диалектич. Л. являются: принцип развития (требующий учета в познании процессов движения и изменения предметов и явлений, выявления направлений их развития), принцип всесторонности в подходе к изучаемым объектам (требующий макс. возможного на данной ступени науки и практики учета св-в объектов и отношений между ними), принцип конкретности истины (утверждающий, что истина имеет смысл лишь в определенной, зависящей от характера рассматриваемой области действительности, системе абстракций, в определенных историч. условиях, что абстрактной истины нет), принцип единства количества и качества (объясняющий широкую применимость средств математики в самых различных науках) и др.

Диалектич. Л. носит исключительно содержат. характер и ни в какой своей части не может быть (в отличие от формальной Л.) представлена в виде исчислений. С другой стороны, именно диалектич. Л. и вообще методология диалектич. материализма раскрывает теоретико-познават. значение применяемого в математике, математической Л., кибернетике и др. науках метода формализации. В широком смысле под формализацией понимается уточнение содержания познания, осуществляемое посредством того, что изучаемым объектам, явлениям, процессам действительности определ. образом сопоставляются нек-рые материальные конструкции, обладающие относительно устойчивым характером и позволяющие в силу этого выявлять и фиксировать существенные и закономерные стороны изучаемых объектов. Характерная особенность формализации в том, что с ее помощью выявление и уточнение содержания происходят через фиксацию (с помощью конструктивных объектов того или иного рода, напр. с помощью элементов математич., логич. и иной символики, с помощью электрич. или механич. состояний элементов вычислит. машин и т. п.) его формы и оперирование с ней. В совр. науке наиболее развитым способом формализации является представление определ. областей знания в соответствующих логич. и логико-математич. исчислениях (логич. формализация). Во всякой формализации всегда присутствует момент огрубления конкретной развивающейся действительности. Однако это огрубление является необходимой стороной процесса познания. «Мы не можем представить, выразить, смерить, изобразить движения, не прервав непрерывного, не упростив, огрубив, не разделив, не омертвив живого. Изображение движения мыслью есть всегда огрубление, омертвление,— и не только мыслью, но и ощущением, и не только движения, но и всякого понятия» (Ленин В. И., Соч., т. 38, с. 255). Совершенствование средств формализации является важной стороной прогресса науки; в настоящее время этот прогресс наглядно выражается в широком применении машинной математики и средств автоматики к самым различным сферам науки и техники.

Диалектич. Л. находится в тесной связи с целым рядом наук (математика и теоретическая Л., естественные и гуманитарные науки). Проводимое в диалектич. Л. и теории познания диалектич. материализма изучение вопроса о роли абстракций в науке, о взаимоотношении научных теорий и их практических (в т. ч. технических) приложений, опирается на результаты теоретич. Л., кибернетики, технич. наук. Важной областью связи диалектич. Л. с новейшими достижениями науки является диалектико-материалистич. анализ отношения между содержанием и формой познания, использующий результаты математич. Л. Наиболее важным здесь является доказательство австр. математиком К. Гёделем (1931) теоремы о неполноте формализов. арифметики, согласно к-рой в логич. системе формализации арифметики, разработанной англ. учеными А. Уайтхедом и Б. Расселом (изложена в их соч. «Principia mathematica», см. лит.), и в родственных системах имеются неразрешимые (т. е. недоказуемые и неопровержимые) предложения; это значит, что если в исчислении выражается нек-рая достаточно богатая содержанием теория (теория, включающая арифметику натур. чисел), она не может быть полностью охвачена этим исчислением; при логич. формализации такого рода содержат. научных теорий (напр., арифметики) всегда остается невыявляемый в исчислении остаток. Этот результат соответствует принципам диалектич. Л., согласно к-рым формально-логич. обработка понятий и суждений возможна и целесообразна далеко не во всех случаях; принципиально невозможно формализовать все логич. средства, к-рыми пользуются наука и практика на каждой данной ступени познания; характер и глубина логич. формализации зависят от изучаемой области действительности, от применяемой в процессе познания системы абстракций; способы логич. уточнения

содержания научных теорий могут быть различными в различных логич. и логико-математич. теориях. Переход от одного способа логич. формализации к другому, позволяющему глубже отразить действительность, является диалектически-противоречивым процессом, развертывающимся в ходе развития науки и практики и подчиняющимся принципам диалектич. логики. В этом процессе важнейшее значение приобретает та универс. гибкость, присущая содержат. понятиям, значение к-рой в познании подчеркивал В. И. Ленин.

Лит.: Клини С. К., Введение в метаматематику, пер. с англ., М., 1957 (имеется библ.); Чёрч А., Введение в математическую логику, пер. с англ., т. 1, М., 1960; Аристотель, Аналитики первая и вторая, [Л.], 1952; Милль Дж. Ст., Система логики силлогической и индуктивной, пер. с англ., 2 изд., М., 1914; Логические исследования. Сб. ст., М., 1959; Применение логики в науке и технике. [Сб. ст.], М., 1960; Кобринский Н. Е. и Трахтенброт Б. А., Введение в теорию конечных автоматов, М., 1962 (имеется библ.); Глушков В. М., Синтез цифровых автоматов, М., 1962; Карнап Р., Значение и необходимость. Исследование по семантике и модальной логике, [пер. с англ.], М., 1959; Марков А. А., Теория алгорифмов, М.— Л., 1954 («Тр. Матем. ин-та АН СССР», т. 42); Успенский В. А., Лекция о вычислимых функциях, М., 1960; его же, Алгоритм, «Философская энциклопедия», т. 1, М., 1960; Пятницын Б., Вероятностная логика, там же; Проблемы конструктивного направления в математике. 1. Сб. работ, М.— Л., 1958 («Тр. Матем. ин-та АН СССР», т. 52); Проблемы конструктивного направления в математике. 2. Сб. работ, М.—Л., 1962 («Тр. Матем. ин-та АН СССР», т. 62); Сборник статей по математической логике и ее приложениям к некоторым вопросам кибернетики, М., 1958 («Тр. Матем. ин-та АН СССР», т. 51); Проблемы кибернетики, вып. 1—9, 1958—63; Кибернетический сборник, 1—5, 1960—62; Стяжкин Н. И., Силаков В. Д., Краткий очерк истории общей и математической логики в России, М., 1962; Bocheński I. M. J., Formale Logik, Freiburg — Münch., [1956]; Boole G., An Investigation of the laws on thought, L., 1854; Frege G., Grundgesetze der Arithmetik, Bd 1—2, Jena, 1893—1993; Whitehead A. and Russell B., Principia mathematica, 2 ed., v. 1—3, Camb., 1927—35.

См. также лит. при ст. *Алгебра логики*, *Логика математическая* и *Алгоритм*.

Б. В. Бирюков.

ЛОГИКА МАЖОРИТАРНАЯ (majority logic; logique majoritaire; Mehrheitslogik) — математич. аппарат, используемый для анализа и синтеза дискретных вычислительных и управляющих схем, построенных из т. н. мажоритарных элементов (МЭ). Л. м. является частным случаем *логики пороговой*. МЭ наз. пороговый элемент, у которого для всех j от 0 до $n-1$ $\xi_j=1$, а $\eta=\frac{n+1}{2}$ для нечетных n и $\eta=\frac{n+2}{2}$ для четных n. Т. о., МЭ возбуждается тогда и только тогда, когда более чем половина его входов возбуждена. Обычно мажоритарной ф-цией наз. ф-цию, описывающую поведение МЭ при $n=3$. Впервые МЭ рассмотрел Дж. фон Нёйман [1]. При $n=3$ он назвал МЭ смесителем и показал функцион. полноту операций отрицания и смесителя. МЭ использованы в [1] для построения сетей и схем повыш. надежности.

Лит.: 1) Нейман Дж., Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонент, в сб.: Автоматы, пер. с англ., М., 1956; 2) Lindaman R., A theorem for deriving majority-logic networks within an augmented Boolean algerbra, «IRE Trans. Electronic Comput.» 1960, v. EC-9, № 3; 3) Cohn M., Lindaman R., Axiomatic majority-decision logic, там же, 1961, v. EC-10, № 1.

В. И. Варшавский.

ЛОГИКА МАТЕМАТИЧЕСКАЯ (mathematical logics; logique mathématique; mathematische Logik) — формальная логика на совр. стадии ее развития; наука, изучающая предмет формальной логики методом построения т. н. формализованных языков. Наз. также символической логикой (гл. обр. в странах англ. языка), логистикой (А. Уайтхед и Б. Рассел), теоретической логикой (Д. Гильберт и В. Аккерман). С термином «формальная логика» обычно связываются представления о т. н. традиционной логике, при изложении к-рой обычно освещается ряд вопросов, выходящих за рамки Л. м. На самом деле эти разделы либо еще не разработаны в достаточной мере в Л. м. (напр., индуктивная логика), либо относятся к психологии, гносеологии и др.

Понятие формализов. языка естественно возникает при попытках уточнения смысла выражения «формальная логика». Идея формального анализа суждений и доказательств (независимо от заключенного в них содержания), при к-ром рассуждения описываются, исходя из формы выражающих их фраз, восходит к Аристотелю (4 в. до н. э.). Однако лишь в Л. м. формальный анализ рассуждений стал проводиться последовательно. При этом в Л. м. использовали известный также еще с античности аксиоматическо-дедуктивный (аксиоматический) метод, открытие к-рого связывается обычно с именем Пифагора и к-рый широко (хотя, с совр. т. зр., непоследовательно) был применен в «Началах» Эвклида. Осн. идея аксиоматич. метода состоит в следующем. Среди предложений к.-л. теории выделяются нек-рые, принимаемые за исходные, первоначальные. Истинность этих исходных предложений (аксиом) принимается без доказательства (в силу их «очевидности» или к.-л. др. соображений). Все остальные предложения теории выводятся из аксиом «строго логическим» путем, без дополнит. ссылок на «наглядность», «очевидность» и т. п. Если значение слов «строго логич. путем» не разъясняется, то метод наз. неформальным (или содержательным, или материальным) аксиоматич. методом. Однако логич. средства, посредством к-рых осуществляются выводы теории, также могут (и должны) стать предметом уточнения,— иначе в словах «строго логич. путем» неизбежно будет присутствовать значит. элемент субъективности. До конца 19 в. считалось (явно или неявно), что ссылка на то, что выводы осуществляются по законам форм. логики, достаточна для обеспечения «строгости» выводов; при этом, однако, сама «формальная» логика была «недостаточно формальной», т. е. законы ее носили содержат. характер. Положение изменилось лишь после того, как сама логика стала строиться как аксиоматическо-дедуктивная теория, т. е. после возникновения Л. м. (это, однако, вовсе не значит, что Л. м. может строиться только аксиоматич. методом; в частности, его не использует важный раздел Л. м. — т. н. *алгебра логики*). Аналогичная ситуация имеет место и при рассмотрении вопроса о понятиях, с к-рыми имеет дело к.-л. теория. В аксиоматич. теории нек-рые понятия (термины) принимаются за исходные, неопределяемые, а все остальные требуется определять, исходя из них, «средствами формальной логики»; и опять-таки лишь в Л. м. оказывается возможным в достаточной мере уточнить и формализовать правила определения. Если в теории не только точно перечислены исходные термины и аксиомы, но и строго описаны правила определения (образования) понятий и правила вывода теорем из аксиом, то говорят, что теория строится формальным аксиоматич. методом.

Кроме двух указанных выше осн. концепций — формального подхода к логич. анализу и аксиоматич. метода построения теории — в возникновении и развитии Л. м. сыграло большую роль введение франц. учеными Ф. Виетом (1591) и Р. Декартом (1619) в математике буквенной символики. Однако само по себе употребление буквенной (и иной специальной) символики не играет принцип. роли. Любое математич. (и логич.) предложение можно в принципе сформулировать и без применения сокращ. обозначений, но отказ от них привел бы к неоправданным усложнениям в рассуждениях, а во многих случаях сделал бы вообще практически невозможным их обозрение. С др. стороны, если словесная формулировка к.-л. предложения действительно точна, то ничто, в принципе, не мешает заменить каждое слово фразы, описывающей это предложение, по нек-рым правилам *кодирования*, к.-л. спец. знаком. Оба предложения — словесно формулированное и закодированное спец. обозначениями — с равным основанием можно считать и называть «символическими», причем если правила кодирования (и декодирования) обеспечивают вполне определенный и однозначный перевод одной фразы в др., то эти фразы будут изоморфны (см. *Изоморфизм*), т. е. взаимно-однозначное соответствие между их элементами (словами или частями слов в одном случае и символами — в другом) будет распространяться и на отношения, существующие между этими элементами. Т. о., термин «символическая логика», при всей своей естественности, способен создать преувелич. мнение о важности самих символич. обозначений в логике (и математике). По существу, именно для совр. логики больше всего подходил бы термин «формальная логика», т. к. то, что обычно наз. формальной логикой, «недостаточно формально». Однако, поскольку термин «формальная логика» прочно укоренился для обозначения традиц. логики, совр. формальную логику обычно наз. Л. м., что оправдано рядом причин истор. характера. Дело в том, что опис. выше концепции формально-логич. анализа и аксиоматич. дедукции в той или иной форме проникли в научное исследование уже с 17 в., причем гл. шаги в этом направлении были сделаны в математике. Нем. философ и математик Г. В. Лейбниц (1666) выдвинул мысль о возможности и необходимости построения универс. логико-математич. исчисления («универсальной характеристики»), к-рое, во-первых, сделало бы возможной точную формулировку любой логич. и математич. задачи и, во-вторых, было бы настолько сильным, чтобы любая такая задача (в рамках этого исчисления) могла бы решаться в положит. или отрицат. смысле, т. е. чтобы ее доказательство (или опровержение) носило характер *алгоритма*. Эти идеи Лейбница (дополненные им рядом попыток построения логич. исчислений) дают основание считать его основоположником Л. м., хотя дальнейшее развитие науки и показало, что надежды Лейбница на возможность алгоритмизации решения любых задач были преувеличенными. Впоследствии работы по Л. м., развивавшиеся независимо от полузабытых идей Лейбница (а также еще более ранних мыслей средневекового схоласта Р. Луллия, 13 в.), протекали по двум осн. направлениям. Первое — в лице англ. матем. и логика А. да Моргана (1847, 1864), англ. ученого Д. Буля (1847, 1854), амер. философа К. С. Пирса (1867, 1880), нем. матем. и логика Э. Шрёдера (1877, 1890—1905), рус. ученого П. С. Порецкого (1881—84) и др. — преследовало цели выработки сжатого символич. аппарата для постановки и решения логич. задач. В результате этих работ была построена обширная математич. теория алгебраич. характера, описывающая осн. закономерности логики классов (как объемов понятий) и логики высказываний (предложений, принимающих лишь два значения: «истина» и «ложь» и нерасчлененных по субъективно-предикатной структуре). Возникшая теория не использовала аксиоматич. метода и, будучи по форме символической (алгебраической), была по существу содержательной — подобно тому как обычное изложение совр. математич. дисциплин, широко используя символич. обозначения (и даже аксиоматич. метод), все же носит содержат. характер, т. е. использует содержание (значение) употребляемых понятий и терминов. На базе перечисл. работ возникла содержат. часть совр. Л. м. — алгебра логики, в рамках идей к-рой англ. логик С. Джевонс (1869) построил одну из первых логич. машин, работавшую при помощи механич. переключений. Алгебра логики включает в себя как алгебру высказываний, так и логику предикатов (отношений). Составной частью последней является логика классов (одноместных предикатов), содержание к-рой по существу покрывает содержание традиц. аристотелевой формальной логики.

Др. группа работ — нем. логика Г. Фрего (1893, 1903), итал. матем. Дж. Пеано (1894—1908), англ. ученых А. Уайтхеда и Б. Рассела (1910—13) — преследовала цель строгого формальнологич. построения разл. разделов математики. В этих исследованиях осн. роль играл аксиоматич. подход. Если первую группу исследований можно охарактеризовать как применение математики к логике, то вторую — как применение логики к математике (это деление достаточно условно, поскольку четкой границы между обеими концепциями провести не удается; более того, каждая из них использовала идеи и результаты другой).

Перечисл. работы составили к началу 20 в. новую самостоят. научную дисциплину — Л. м. Дальнейший этап Л. м. связан прежде всего с работами Д. Гильберта, к-рому принадлежит аксиоматич. построение геометрии Эвклида и Лобачевского — Бойяи (1899). Начиная с 1900 Гильберт, в связи с проблемой непротиворечивости разл. математич. теорий (и математики в целом), выдвинул программу, выполнение к-рой, по его мнению, обеспечило бы строгое доказательство искомой непротиворечивости. Важнейшей частью этой программы явилось построение новой логико-математич. дисциплины, наз. теорией доказательств, или метаматематикой. Предметом этой содержат. теории, по мысли Гильберта, является математика, причем сама математика, чтобы быть точным объектом исследования (в процессе к-рого можно было бы точно формулировать и решать разл. вопросы, относящиеся ко всей математике, в т. ч. вопрос о непротиворечивости), должна быть точно формализована,

т. е. построена в терминах формализов. языка (ФЯ).

ФЯ, свободный от неопределенности и неоднозначности выражений, свойственной обычным разговорным языкам, строится след. образом: 1) задается список исходных формальных символов («алфавит» языка). Он не обязательно конечен, но во всяком случае должен быть таким, чтобы по отношению к любому символу можно было дать точный ответ, принадлежит этот символ к данному списку или нет; 2) из конечных последовательностей формальных символов (формальных выражений) выделяется класс т. н. термов языка, соответствующих подлежащим и дополнениям во фразах обычных языков. Этот класс описывается точными правилами построения термов из исходных форм, символов; 3) задаются т. н. правила образования, выделяющие нек-рый класс формальных выражений — формул ФЯ, играющих роль фраз обычных языков. Пользуясь этими правилами, можно по отношению к любому формальному выражению определить, является ли оно ф-лой; 4) из класса ф-л выделяют некоторый подкласс т. н. аксиом. Аксиомы могут быть заданы как конечным списком, так и правилами, позволяющими определить, является ли данная ф-ла аксиомой (описание при помощи т. н. схем аксиом); 5) задаются т. н. правила преобразования, или правила вывода, по к-рым из к.-л. ф-л, как из посылок, непосредственно выводится, или непосредственно следует, как заключение, нек-рая ф-ла. Здесь термины «посылка», «заключение», «следует» и т. д. пока не связываются с к.-л. их общепринятым содержанием, так же как ранее термины «формула», «аксиома» и др. Правила вывода выражены на к.-л. содержат. (напр., русском) языке, и то же относится ко всем предыдущим определениям. Из этого, однако, вовсе не следует, что в конструируемый т. о. ФЯ неизбежно переходят все неправильности и нерегулярности разговорного языка — для формулировки правил вывода совершенно незачем пользоваться разговорным языком во всем его объеме: достаточно очень небольшой его части, о значении терминов к-рой не представляет никакого труда точно договориться; 6) конечная последовательность ф-л наз. доказательством, если каждая ф-ла этой последовательности есть либо аксиома, либо непосредственно выводится из одной или нескольких предыдущих ф-л последовательности. Ф-ла, для к-рой существует доказательство (оканчивающееся этой ф-лой), наз. теоремой (в частности, теоремой является каждая аксиома, доказательство к-рой состоит из одной ф-лы — ее самой).

Описанная в 1)—6) совокупность ф-л (среди к-рых выделены аксиомы) и правил вывода наз. исчислением (др. названия: формальная система, логистич. система, формализм, формальная математика, формальная теория, аксиоматич. система и др.). Для того чтобы исчисление стало ФЯ, следует задать его интерпретацию, т. е. при помощи т. н. семантических правил описать значения всех употребляемых терминов. До задания интерпретации термины, входящие в описание исчисления, ничего не «означают», кроме того, что сказано о них в правилах построения исчисления 1) — 6). Интерпретацией исчисления может служить как содержат. теория, в качестве формализации к-рой строится это исчисление, так и любая др. совокупность предметов, отношения между к-рыми удовлетворяют требованиям 1)—6), а также любая др. формальная система, удовлетворяющая требованиям 1) —6). В частности, при интерпретации исчисления в терминах содержат. логики и математики слова «формула», «теорема», «следует», «доказательство» и др. понимаются в их обычном смысле, с той, однако, существ. разницей, что теперь это понимание опирается не только на интуицию, отраженную в разговорной речи, но и на точные определения 1)—6). Напр., вопрос о том, является ли данная последовательность ф-л доказательством, решается не на основании «убедительности» рассуждений, являющихся интерпретацией данной последовательности, а путем эффективной проверки, удовлетворяет ли эта последовательность определению 6).

Только на этом уровне удается осуществить идеал, в неясной форме выдвинутый античными математиками в их трактовке аксиоматич. метода, т. е. производить вывод теорем из аксиом по правилам формальной логики: «строгость вывода» в ФЯ понимается в свете определений 5) и 6).

Изучение чисто формальной части ФЯ, т. е. неинтерпретированного исчисления, независимо от к.-л. его интерпретации, наз. синтаксисом этого ФЯ; рассмотрение же интерпретации как таковой есть предмет семантики ФЯ, науки о значениях его терминов. Четкое разграничение роли синтаксиса и семантики, формального и содержательного в языке вообще, и в языке дедуктивной теории в особенности, есть существ. завоевание концепции Гильберта. Однако она не исчерпывается сказанным. Для того чтобы решать вопросы, относящиеся к ФЯ в целом (напр., вопрос о его непротиворечивости, к-рый можно поставить в чисто синтаксич. форме), необходима теория, изучающая синтаксис ФЯ. Эта теория должна быть содержательной, поскольку ее выводы должны быть убедительны в самом общепонятном смысле; для того чтобы эта убедительность была бесспорной, используемые содержат. средства рассуждений должны быть ограничены употреблением принципов, в отношении к-рых среди математиков и логиков не возникает сомнений в их правомерности. Этими т. н. финитными средствами (не использующими расплывчатых понятий, вроде т. н. актуальной бесконечности и т. п.) и пользуется теория, изучающая ФЯ. Она наз. метатеорией этого языка; если речь идет о ФЯ математики — метаматематикой, в случае чисто логич. исчисления — металогикой. Сама формальная теория, изучаемая в метатеории, наз. предметной теорией, а ФЯ — языком-объектом метатеории.

Т. о., дедуктивная (т. е. основанная на правилах логич. вывода, дедукции) теория состоит из трех «этажей»: а) нек-рая содержат. теория; б) формальная система (исчисление)— формализация теории а); в) метатеория, в к-рой описывается и изучается формальная система б). В обычном (разговорном) смысле б) вообще является не теорией, а системой

символов и предметов, описанных в в); б) служит условным описанием («моделью») теории а), к-рая, со своей стороны, дает интерпретацию исчисления б) в к.-л. терминах. Следует заметить, что метатеория в), в свою очередь, может быть формализована [и стать предметом изучения метаметатеории г), в к-рой, в частности, должны тогда быть сформулированы правила вывода метатеории в) и все относящиеся к ней определения]. С др. стороны, «содержательность» интерпретации а) весьма относительна; элементами а) могут быть, в принципе, объекты любого уровня абстракции, в т. ч. и элементы к.-л. формальной системы [как отличной от б), так и совпадающей с ней].

Рассмотрим пример реализации введенных выше понятий. 1) Определим формальную систему, словарь к-рой содержит след. формальные символы. Логич. знаки: $\supset$ (влечет), & (и), $\vee$ (или), $\neg$ (не), $\forall$ (от англ. all — все, для всех), $\exists$ (от англ. exist — существует); знак предиката = (равняется); знаки ф-ций: + (плюс), · (умножить на), ′ (следующее за); знак константы 0 (нуль); переменные: $a, b, c, \ldots$; скобки: (,). Слова, заключ. в скобки, указывают интерпретацию введенных символов; однако для описания исчисления как такового эта интерпретация не нужна. Логич. символика очень разнообразна. Приведенные здесь логич. знаки наиболее употребительны при описании формальных систем. В содержат. теориях (напр., в алгебре логики) импликацию часто обозначают знаком $\rightarrow$, отрицание— чертой над ф-лой, конъюнкцию — знаком $\wedge$.

2) Термами исчисления являются переменные, константа 0 и выражения вида (s)+(t), (s)·(t) и (s)′, где s и t — термы.

3) Ф-лы исчисления имеют вид (s)=(t) (где s и t— термы), (A) $\supset$ (B), (A) & (B), (A) $\vee$ (B),

$$\neg (A),\ \forall x\,(A) \text{ или } \exists x\,(A)$$

(A и B—ф-лы, а x—переменная). В дальнейшем будут использоваться соглашения об опускании скобок, подобные принятым, напр., в арифметике. А именно, при построении термов и ф-л будем при отсутствии скобок (указывающих на порядок «действий», т. е. применений правил образования) считать непосредственно относящимися к переменным константам, термам и ф-лам знаки, приведенные в словаре, в порядке, обратном этому перечислению:

$$′,\ \cdot,\ +,\ =,\ \exists,\ \forall,\ \neg,\ \vee,\ \&\ \text{и}\ \supset.$$

4) и 5) Ниже следует перечисление аксиом и правил вывода. В нек-рых случаях будут прямо указаны ф-лы, являющиеся аксиомами, в др. случаях при помощи больших лат. букв (не принадлежащих формальной системе), служащих для обозначения любой ф-лы (т. н. метаматематич. переменных), будут указаны схемы аксиом: заменяя в такой схеме букву A, B или C любой ф-лой, мы получим аксиому. Т. о., в описываемой формальной системе множество аксиом бесконечно. Правила вывода записываются при помощи горизонт. черты, над к-рой указаны посылки, а снизу — заключение. Общее название для аксиом, схем аксиом и правил вывода — постулаты. В нижеперечисл. постулатах 1—8 A, B и C — ф-лы; в постулатах 9—13 x — переменная, A(x)—ф-ла; на вхождение переменной x в ф-лу C и терма t в ф-лу A в постулатах 9 и 12 накладываются нек-рые не формулируемые здесь ограничения. Постулаты состоят из трех групп.

I. (Постулаты исчисления высказываний)

1а. $A \supset (B \supset A)$.
1б. $(A \supset B) \supset ((A \supset (B \supset C)) \supset (A \supset C))$.
2. $\dfrac{A,\ A \supset B}{B}$.
3. $A \supset (B \supset A\&B)$.
4а. $A\&B \supset A$.
4б. $A\&B \supset B$.
5а. $A \supset A \vee B$.
5б. $B \supset A \vee B$.
6. $(A \supset C) \supset ((B \supset C) \supset (A \vee B \supset C))$.
7. $(A \supset B) \supset ((A \supset \neg B) \supset \neg A)$.
8. $\neg\neg A \supset A$.

II. (Постулаты исчисления предикатов)

9. $\dfrac{C \supset A(x)}{C \supset \forall x A(x)}$.
10. $\forall x A x \supset A(t)$.
11. $A(t) \supset \exists x A(x)$.
12. $\dfrac{A(x) \supset C}{\exists x A(x) \supset C}$.

III. (Постулаты арифметики)

13. $A(0)\&\forall x(A(x) \supset A(x')) \supset A(x)$.
14. $a' = b' \supset a = b$.
15. $\neg a' = 0$.
16. $a = b \supset (a = c \supset b = c)$.
17. $a = b \supset a' = b'$.
18. $a + 0 = a$.
19. $a + b' = (a + b)'$.
20. $a \cdot 0 = 0$.
21. $a \cdot b' = a \cdot b + a$.

6) Определение доказательства в описываемой системе — обычное (см. выше).

Постулаты I группы составляют т. н. исчисление высказываний (ИВ), или пропозициональное исчисление. Если символы $\supset$, &, $\vee$ и $\neg$ интерпретировать соответственно как импликацию, конъюнкцию, дизъюнкцию и отрицание (см. *Алгебра логики*), а под A, B и C понимать произвольные высказывания, то интерпретацией ИВ будет служить т. н. алгебра высказываний (или логика высказываний) — содержат. теория, в к-рой логич. отношения между высказываниями определяются, напр., при помощи т. н. истинностных таблиц. Особую роль играет схема аксиом 8, интерпретацией к-рой служит т. н. закон снятия двойного отрицания: из схемы 8 выводится при помощи др. аксиом ИВ схема ф-л $A \vee \neg A$, выражающая закон исключенного третьего (и обратно, из $A \vee \neg A$ можно получить $\neg\neg A \supset A$). Формальная система (напр., ИВ), в числе аксиом к-рой есть схема формул 8 (или $A \vee \neg A$), наз. классической; исчисления же, в к-рых вместо схемы 8 имеется схема аксиом 8′ $\neg A \supset (A \supset B)$,— интуиционистскими, или конструктивными. ИВ (классич. или интуиционистское) является частью большинства др. рассматриваемых в Л. м. формальных систем. Однако оно представляет и самостоят. интерес; поэтому обычно при его описании исходят из определения ф-лы не зависящего от понятий терма (к-рое в ИВ не используется) и натур. числа, а именно: исходят из т. н. пропозициональных букв A, B, C и т. д., интерпретируемых как переменные, обозначающие высказывания, из к-рых, как из элементарных ф-л, при помощи знаков $\neg$, $\vee$, & и $\supset$ строятся ф-лы ИВ. Для ИВ легко достигается цель, которую преследовал еще Лейбниц, — находится

(и притом многими различными способами) алгоритм, позволяющий определить для каждой ф-лы А исчислений высказываний доказуема ли она (т. е. является ли теоремой) или опровержима (т. е. доказуемо ли ее отрицание — ф-ла ¬А). Эта задача, наз. **проблемой разрешения** исчисления, для многих более сложных (с более «сильными» интерпретациями) формальных систем оказывается, однако, неразрешимой. Простейшим примером такой неразрешимой системы является формальная система, описываемая постулатами групп I и II, — т. н. **исчисление предикатов** (ИП), или функциональное исчисление (первого порядка).

В отличие от ИВ, ф-лы к-рого рассматриваются лишь с т. зр. их истинности или ложности, в ф-лах ИП при их интерпретации различаются субъекты и предикаты высказываний. Роль первых играют термы (к-рым при интерпретации приписываются различные значения из нек-рой фиксиров. области, наз. **областью предметов**), роль вторых — содержащие термы ф-лы ИП. Так же как и для ИВ, понятие ф-лы ИП может быть определено независимо от арифметики (в терминах т. н. **предикатных букв** с разл. числом переменных вида $A(x), B(x, y), C(x, y, z)$ и т. д.; предикатные буквы «с 0 переменных» суть пропозициональные буквы $A, B, C, \ldots$). Ф-ла $\exists x A(x)$ интерпретируется как «существует x такой, что A(x)», ф-ла $\forall x A(x)$ — как «для всех x A(x)». Символы $\exists$ и $\forall$ наз. соответственно **квантором существования** и **квантором всеобщности**. Правила вывода 9 и 12, присоединенные к единств. правилу вывода 2 ИВ (т. н. схеме заключения, или modus ponens), соответствуют обычным содержат. способам умозаключений «от общего к частному» и «от частного к общему». Как сказано выше, проблема разрешения ИП неразрешима; однако для важного частного его случая — т. н. одноместного ИП, содержащего предикатные переменные лишь с одним аргументным местом, проблема разрешения разрешима. Одноместные предикаты (свойства) интерпретируются также как классы (множества) предметов, предикаты с бо́льшим числом аргументных мест — как классы упорядоченных пар, троек и т. д. предметов.

Формальная система, основанная на всех постулатах групп I—III, наз. **формальной арифметикой** (ФА). Термы ФА интерпретируются как натур. числа. Схема аксиом 13 — это принцип математич. индукции; постулаты 14, 15 и 17 — т. н. аксиомы Пеано, характеризующие натур. ряд чисел; аксиомы 18 и 19 определяют сложение; аксиомы 20 и 21 — умножение натур. чисел; аксиома 16 характеризует предикат равенства.

Для всех трех перечисл. формальных систем — ИВ, ИП и ФА — удается провести намеченные программой Гильберта доказательства их непротиворечивости, т. е. доказать, что ни для какой формулы А любой из названных систем А и ее отрицание ¬А не могут быть одновременно доказуемыми. Эти метатеорет. доказательства непротиворечивости проводятся средствами теорий более сильных, чем те, для к-рых доказывается непротиворечивость (конечно, речь идет о сравнении «по силе» либо формальной системы и формализации ее метатеории, либо — на содержат. уровне — метатеории и к.-л. интерпретации предметной теории). Возникает вопрос: нельзя ли построить формальную систему, к-рая, во-первых, была бы непротиворечива и, во-вторых, охватывала бы (служила формализацией) не только арифметику, но и всю математику в целом. Одним из важнейших результатов Л. м. является установленная австр. матем. К. Гёделем (1931) невозможность построения такой «универсальной характеристики». Оказалось, что в любой достаточно сильной (а именно содержащей ФА) формальной системе в случае ее непротиворечивости можно указать пример такой ф-лы, к-рую средствами самой этой теории нельзя ни доказать, ни опровергнуть. Теоретико-познават. значение этой теоремы Гёделя «о неполноте» исключит. велико. Лишь после ее доказательства стала ясной безнадежность попыток формализовать всю содержат. математику средствами **одной** формальной системы. Тем не менее ничто, в принципе, не мешает строить все более сильные системы, служащие формализациями все более мощных и развитых математич. теорий. В отличие от ФА, для ИВ и ИП положительно решается т. н. проблема дедуктивной **полноты**, т. е. каждая истинная (с содержат. точки зрения) ф-ла этих исчислений доказуема в них.

Связь проблематики Л. м. и математики как таковой особенно отчетливо выявилась в конце 19 — нач. 20 вв., после открытия нем. матем. Г. Кантором (1895, 1899), итал. матем. Ч. Бурали-Форти (1897), англ. ученым Б. Расселом (1902) и нем. матем. Э. Цермело (1908) т. н. парадоксов (противоречий, антиномий) теории множеств. Противоречия, обнаруженные в теории множеств, поставили под сомнение корректность всей основанной на этой дисциплине части математики. После того как Б. Рассел показал, что теоретико-множеств. парадоксы могут быть легко переформулированы в чисто логич. терминах (в т. н. расширенном ИП), стало ясно, что под угрозой оказалась не только достоверность любых математич. выводов, но и положенная в их основу логич. база. Испытанный еще в применении к геометрии (как Эвклида, так и Лобачевского) метод интерпретации теории в терминах др. теории, из непротиворечивости к-рой можно было бы исходить, не спасал положения, т. к. под вопросом оказалась непротиворечивость как раз той области, из к-рой всегда брался материал для таких интерпретаций,— теории множеств. Именно это и побудило Гильберта к разработке его программы: он предполагал, что удастся доказать непротиворечивость к.-л. достаточно сильного исчисления, являющегося формализацией теории множеств (т. н. аксиоматич. теории множеств). Но после теоремы Гёделя стало ясно, что в полном объеме эта программа невыполнима. Описанные выше непротиворечивые формальные системы далеко не достаточны для построения совр. математики, а вопрос о непротиворечивости формальных систем, достаточно сильных для формализации теории множеств, не только не решен, но и принципиально не может быть получен по указанному Гильбертом пути. Допускаемые им «финитные», т. е. не использующие сомнительных понятий теории множеств, методы допускают арифметич. формализацию; поэтому предположение о существовании предполагаемого доказательства непротиворечивости теории множеств противоречит следствию из теоремы Гёделя, согласно к-рому непротиворечивость любой формальной системы, содержащей ФА, не может быть выражена средствами самой этой формальной системы.

Но задолго до того, как стало возможным судить об успешности гильбертовской программы, сама ее правомерность стала объектом критики. Еще нем. математик Л. Кронекер (1886) и франц. матем. А. Пуанкаре (1902—06) подвергли сомнению способы рассуждений о бесконечных множествах, перешедших в совр. логику и математику из аристотелевой логики, имевшей дело лишь с конечными множествами (классами) объектов. Последовательное выражение эта критика получила в работах голландск. матем. Л. Э. Я. Брауэра (1908, 1923, 1928), положивших начало т. н. **интуиционистскому** направлению в основаниях математики (и логики). Главным объектом критики Брауэра стал один из осн. законов традиц. логики — **закон исключенного третьего**, согласно к-рому для всякого высказывания верно либо оно само, либо его отрицание (в символике ИВ: $A \vee \neg A$). Утверждение, что каждый предмет из к.-л. конечной совокупности обладает или не обладает нек-рым свойством [закон исключенного третьего на языке ИП: $\forall x(P(x) \vee \neg P(x))$], может быть проверено путем перебора элементов этой совокупности. В случае же бесконечного множества утверждение $\forall x(P(x) \vee \neg P(x))$, согласно к-рому любой элемент x из этого множества либо обладает, либо не обладает св-вом P(x), само по себе не дает никакого способа проверки, для каких же именно x верно P(x), а для каких — $\neg P(x)$. Интуиционизм, в отличие от т. н. **формализма** Гильберта, не признает т. н. «чистых» доказательств существования к.-л. объекта, требуя от доказательств существования указания эффективного способа получения (построения) указанного объекта, причем окончательным (и единственным) критерием этой эффективности и правильности доказательства служит его интуитивная (т. е. содержательная) убедительность, а отнюдь не только непротиворечивость формальной системы, в к-рой может быть формально проведено доказательство. Вообще интуиционисты считают, что понятие эффективности способа построения и понятие доказательства по существу не могут быть точно (формально) определены и что математика (и любая ее содержат. часть) вообще не может быть уложена в рамки какой бы то ни было формальной системы. Для того чтобы полностью отразить интуиционистскую критику закона исключенного третьего и применяющих этот закон доказательств неинтуиционистской (т. н. классической) математики, пришлось бы допустить существование единого общего метода, способного решать вопрос об истинности или ложности любого математич. (и логического) рассуждения, что, как известно, несуществимо.

Дальнейшим развитием интуиционистской концепции оснований математики и логики служит т. зр. **ультраинтуиционизма**. Ультраинтуиционистская критика математич. рассуждений, оспаривающая законность и многих приемлемых даже с т. зр. интуиционизма понятий классич. математики, позволила в то же время существенно продвинуться на пути установления непротиворечивости аксиоматич. теории множеств (а значит, и почти всей содержат. математики). Этот факт не вступает в противоречие с теоремой Гёделя, поскольку используемые для ультраинтуиционистского обоснования теории множеств понятия не формализуются в рамках ФА (и вообще в какой бы то ни было формальной системе), опираясь непосредств. на содержательную убедительность исходных предпосылок.

В рамках интуиционизма его осн. критерий убедительности математич. рассуждений — наличие эффективного способа вычисления или построения объектов, являющихся предметом рассуждения,— не мог быть уточнен, поскольку интуиционисты исходили из принципиальной невозможности такого уточнения. Возникшее же, подобно интуиционизму, на базе критики классич. математики и логики т. н. **конструктивное направление** (в математике и логике) как раз исходит из необходимости (и возможности) таких уточнений. Появившиеся независимо друг от друга в 1930-е гг. разл. определения **вычислимой функции** и определения **алгоритма** (оказавшиеся впоследствии эквивалентными между собой, см. *Алгоритм*, *Тьюринга машина*) стали надежной основой конструктивного направления, полностью отказавшегося от использования понятий классич. теоретико-множеств. математики, в первую очередь понятия актуальной («завершенной») бесконечности. Конструктивная математика, оперирующая лишь с т. н. **конструктивными объектами** (т. е. с такими объектами, к-рые либо являются результатом четко описанной — в смысле того или иного определения — конструкции, примененной к др. конструктивным объектам, либо, если речь идет об «элементарных» первоначально неопределяемых понятиях, с объектами, допускающими однозначное применение к ним к.-л. такой конструкции), является непосредств. идейной основой совр. машинной математики, по самой своей природе могущей иметь дело только с конструктивными объектами. Строго говоря, объектами действия к.-л. вычислит. машины могут быть вообще лишь конечные множества (чисел, слов и др.). Но с принятием т. н. **принципа потенциальной осуществимости** (принимаемого без всяких оговорок интуиционистами и конструктивистами, но отвергаемого ультраинтуиционизмом), позволяющего игнорировать ограниченность возможностей того или иного вычислит. процесса во времени (и пространстве), такие конструктивные объекты, как, напр., рекурсивные (т. е. получаемые в результате регулярного вычисления значений т. н. **рекурсивной функции**) множества натур. чисел, также могут быть сочтены объектами «машинной» математики (хотя фактически машина всегда работает лишь с конечными подмножествами рекурсивных множеств).

На основе точного определения понятия алгоритма стало возможным точно сформулировать, а затем и решить целый ряд важнейших задач о т. н. алгоритмич. неразрешимости массовых математич. проблем. Наиболее значит. результаты такого рода были получены амер. учеными А. Чёрчем (1936) и И. Э. Постом (1949)

(и притом многими различными способами) алгоритм, позволяющий определить для каждой ф-лы A исчислений высказываний доказуема ли она (т. е. является ли теоремой) или опровержима (т. е. доказуемо ли ее отрицание — ф-ла $\neg A$). Эта задача, наз. п р о б л е м о й р а з р е ш е н и я исчисления, для многих более сложных (с более «сильными» интерпретациями) формальных систем оказывается, однако, неразрешимой. Простейшим примером такой неразрешимой системы является формальная система, описываемая постулатами групп I и II, — т. н. и с ч и с л е н и е п р е д и к а т о в (ИП), или функциональное исчисление (первого порядка).

В отличие от ИВ, ф-лы к-рого рассматриваются лишь с т. зр. их истинности или ложности, в ф-лах ИП при их интерпретации различаются субъекты и предикаты высказываний. Роль первых играют термы (к-рым при интерпретации приписываются различные значения из нек-рой фиксиров. области, наз. о б л а с т ь ю п р е д м е т о в), роль вторых — содержащие термы ф-лы ИП. Так же как и для ИВ, понятие ф-лы ИП может быть определено независимо от арифметики (в терминах т. н. п р е д и к а т н ы х б у к в с разл. числом переменных вида $A(x), B(x, y), C(x, y, z)$ и т. д.; предикатные буквы «с 0 переменных» суть пропозициональные буквы $A, B, C, \ldots$). Ф-ла $\exists x A(x)$ интерпретируется как «существует x такой, что A(x)», ф-ла $\forall x A(x)$ — как «для всех x A(x)». Символы $\exists$ и $\forall$ наз. соответственно к в а н т о р о м с у щ е с т в о в а н и я и к в а н т о р о м в с е о б щ н о с т и. Правила вывода 9 и 12, присоединенные к единств. правилу вывода 2 ИВ (т. н. схеме заключения, или modus ponens), соответствуют обычным содержат. способам умозаключений «от общего к частному» и «от частного к общему». Как сказано выше, проблема разрешения ИП неразрешима; однако для важного частного его случая — т. н. одноместного ИП, содержащего предикатные переменные лишь с одним аргументным местом, проблема разрешения разрешима. Одноместные предикаты (свойства) интерпретируются также как классы (множества) предметов, предикаты с бо́льшим числом аргументных мест — как классы упорядоченных пар, троек и т. д. предметов.

Формальная система, основанная на всех постулатах групп I—III, наз. ф о р м а л ь н о й а р и ф м е т и к о й (ФА). Термы ФА интерпретируются как натур. числа. Схема аксиом 13 — это принцип математич. индукции; постулаты 14, 15 и 17 — т. н. аксиомы Пеано, характеризующие натур. ряд чисел; аксиомы 18 и 19 определяют сложение; аксиомы 20 и 21 — умножение натур. чисел; аксиома 16 характеризует предикат равенства.

Для всех трех перечисл. формальных систем — ИВ, ИП и ФА — удается провести наст. время их непротиворечивости, т. е. доказать, что ни для какой формулы A любой из названных систем A и ее отрицание $\neg A$ не могут быть одновременно доказуемыми. Эти метатеоретич. доказательства непротиворечивости проводятся средствами теорий более сильных, чем те, для к-рых доказывается непротиворечивость (конечно, речь идет о сравнении «по силе» либо формальной системы и формализации ее метатеории, либо — на содержат. уровне — метатеории и к.-л. интерпретации предметной теории). Возникает вопрос: нельзя ли построить формальную систему, к-рая, во-первых, была бы непротиворечива и, во-вторых, охватывала бы (служила формализацией) не только арифметику, но и всю математику в целом. Одним из важнейших результатов Л. м. является установленная австр. матем. К. Гёделем (1931) невозможность построения такой «универсальной характеристики». Оказалось, что в любой достаточно сильной (а именно содержащей ФА) формальной системе в случае ее непротиворечивости можно указать пример такой ф-лы, к-рую средствами самой этой теории нельзя ни доказать, ни опровергнуть. Теоретико-познават. значение этой теоремы Гёделя «о неполноте» исключит. велико. Лишь после ее доказательства стала ясной безнадежность попыток формализовать всю содержат. математику средствами о д н о й формальной системы. Тем не менее ничто, в принципе, не мешает строить все более сильные системы, служащие формализациями все более мощных и развитых математич. теорий. В отличие от ФА, для ИВ и ИП положительно решается т. н. проблема дедуктивной п о л н о т ы, т. е. каждая истинная (с содержат. точки зрения) ф-ла этих исчислений доказуема в них.

Связь проблематики Л. м. и математики как таковой особенно отчетливо выявилась в конце 19 — нач. 20 вв., после открытия нем. матем. Г. Кантором (1895, 1899), итал. матем. Ч. Бурали-Форти (1897), англ. ученым Б. Расселом (1902) и нем. матем. Э. Цермело (1908) т. н. парадоксов (противоречий, антиномий) теории множеств. Противоречия, обнаруженные в теории множеств, поставили под сомнение корректность всей основанной на этой дисциплине части математики. После того как Б. Рассел показал, что теоретико-множеств. парадоксы могут быть легко переформулированы в чисто логич. терминах (в т. н. расширенном ИП), стало ясно, что под угрозой оказалась не только достоверность любых математич. выводов, но и положенная в их основу логич. база. Испытанный еще в применении к геометрии (как Эвклида, так и Лобачевского) метод интерпретации теории в терминах др. теории, из непротиворечивости к-рой можно было бы исходить, не спасал положения, т. к. под вопросом оказалась непротиворечивость как раз той области, из к-рой всегда брался материал для таких интерпретаций,— теории множеств. Именно это и побудило Гильберта к разработке его программы: он предполагал, что удастся доказать непротиворечивость к.-л. достаточно сильного исчисления, являющегося формализацией теории множеств (т. н. аксиоматич. теории множеств). Но после теоремы Гёделя стало ясно, что в полном объеме эта программа невыполнима. Описанные выше непротиворечивые формальные системы далеко не достаточны для построения совр. математики, а вопрос о непротиворечивости формальных систем, достаточно сильных для формализации теории множеств, не только не решен, но и принципиально не может быть получен по указанному Гильбертом пути. Допускаемые им «финитные», т. е. не использующие сомнительных понятий теории множеств, методы допускают арифметич. формализацию; поэтому предположение о существовании предполагаемого доказательства непротиворечивости теории множеств противоречит следствию из теоремы Гёделя, согласно к-рому непротиворечивость любой формальной системы, содержащей ФА, не может быть выражена средствами самой этой формальной системы.

Но задолго до того, как стало возможным судить об успешности гильбертовской программы, сама ее правомерность стала объектом критики. Еще нем. математик Л. Кронекер (1886) и франц. матем. А. Пуанкаре (1902—06) подвергли сомнению способы рассуждений о бесконечных множествах, перешедших в совр. логику и математику из аристотелевой логики, имевшей дело лишь с конечными множествами (классами) объектов. Последовательное выражение эта критика получила в работах голландск. матем. Л. Э. Я. Брауэра (1908, 1923, 1928), положивших начало т. н. и н т у и ц и о н и с т с к о м у направлению в основаниях математики (и логики). Главным объектом критики Брауэра стал один из осн. законов традиц. логики — з а к о н и с к л ю ч е н н о г о т р е т ь е г о, согласно к-рому для всякого высказывания верно либо оно само, либо его отрицание (в символике ИВ: $A \vee \neg A$). Утверждение, что каждый предмет из к.-л. конечной совокупности обладает или не обладает нек-рым свойством [закон исключенного третьего на языке ИП: $\forall x(P(x) \vee \neg P(x))$], может быть проверено путем перебора элементов этой совокупности. В случае же бесконечного множества утверждение $\forall x(P(x) \vee \neg P(x))$, согласно к-рому любой элемент x из этого множества либо обладает, либо не обладает св-вом P(x), само по себе не дает никакого способа проверки, для каких же именно x верно P(x), а для каких — $\neg P(x)$. Интуиционизм, в отличие от т. н. ф о р м а л и з м а Гильберта, не признает т. н. «чистых» доказательств существования к.-л. объекта, требуя от доказательств существования указания эффективного способа получения (построения) указанного объекта, причем окончательным (и единственным) критерием этой эффективности и правильности доказательства служит его интуитивная (т. е. содержательная) убедительность, а отнюдь не только непротиворечивость формальной системы, в к-рой может быть формально проведено доказательство. Вообще интуиционисты считают, что понятие эффективности способа построения и понятие доказательства по существу не могут быть точно (формально) определены и что математика (и любая ее содержат. часть) вообще не может быть уложена в рамки какой бы то ни было формальной системы. Для того чтобы полностью отразить интуиционистскую критику закона исключенного третьего и применяющих этот закон доказательств неинтуиционистской (т. н. классической) математики, пришлось бы допустить существование единого общего метода, способного решать вопрос об истинности или ложности любого математич. (и логического) рассуждения, что, как известно, неосуществимо.

Дальнейшим развитием интуиционистской концепции оснований математики и логики служит т. зр. у л ь т р а и н т у и ц и о н и з м а. Ультраинтуиционистская критика математич. рассуждений, оспаривающая законность и многих приемлемых даже с т. зр. интуиционизма понятий классич. математики, позволила в то же время существенно продвинуться на пути установления непротиворечивости аксиоматич. теории множеств (а значит, и почти всей содержат. математики). Этот факт не вступает в противоречие с теоремой Гёделя, поскольку используемые для ультраинтуиционистского обоснования теории множеств понятия не формализуются в рамках ФА (и вообще в какой бы то ни было формальной системе), опираясь непосредств. на содержательную убедительность исходных предпосылок.

В рамках интуиционизма его осн. критерий убедительности математич. рассуждений — наличие эффективного способа вычисления или построения объектов, являющихся предметом рассуждения,— не мог быть уточнен, поскольку интуиционисты исходили из принципиальной невозможности такого уточнения. Возникшее же, подобно интуиционизму, на базе критики классич. математики и логики т. н. к о н с т р у к т и в н о е н а п р а в л е н и е (в математике и логике) как раз исходит из необходимости (и возможности) таких уточнений. Появившиеся независимо друг от друга в 1930-е гг. разл. определения в ы ч и с л и м о й ф у н к ц и и и определения а л г о р и т м а (оказавшиеся впоследствии эквивалентными между собой, см. *Алгоритм*, *Тьюринга машина*) стали надежной основой конструктивного направления, полностью отказавшегося от использования понятий классич. теоретико-множеств. математики, в первую очередь понятия актуальной («завершенной») бесконечности. Конструктивная математика, оперирующая лишь с т. н. к о н с т р у к т и в н ы м и о б ъ е к т а м и (т. е. с такими объектами, к-рые либо являются результатом четко описанной — в смысле того или иного определения — конструкции, примененной к др. конструктивным объектам, либо, если речь идет об «элементарных» первоначально неопределяемых понятиях, с объектами, допускающими однозначное применение к ним к.-л. такой конструкции), является непосредств. идейной основой совр. машинной математики, по самой своей природе могущей иметь дело только с конструктивными объектами. Строго говоря, объектами действия к.-л. вычислит. машины могут быть вообще лишь конечные множества (чисел, слов и др.). Но с принятием т. н. п р и н ц и п а п о т е н ц и а л ь н о й о с у щ е с т в и м о с т и (принимаемого без всяких оговорок интуиционистами и конструктивистами, но отвергаемого ультраинтуиционизмом), позволяющего игнорировать ограниченность возможностей того или иного вычислит. процесса во времени (и пространстве), такие конструктивные объекты, как, напр., рекурсивные (т. е. получаемые в результате регулярного вычисления значений т. н. р е к у р с и в н о й ф у н к ц и и) множества натур. чисел, также могут быть сочтены объектами «машинной» математики (хотя фактически машина всегда работает лишь с конечными подмножествами рекурсивных множеств).

На основе точного определения понятия алгоритма стало возможным точно сформулировать, а затем и решить целый ряд важнейших задач о т. н. алгоритмич. неразрешимости массовых математич. проблем. Наиболее значит. результаты такого рода были получены амер. учеными А. Чёрчем (1936) и И. Э. Постом (1949)

и сов. учеными А. А. Марковым (1951—52) и П. С. Новиковым (1958) и его учениками. Понятие алгоритма — одно из немногих осн. математич. понятий, не нуждающихся в теоретико-множеств. интерпретации, — можно считать прообразом понятия машинной программы.

В то же время значение Л. м. для ее приложений, в т. ч. технических, отнюдь не исчерпывается концепцией алгоритма-программы и общеизвестными интерпретациями понятий ИВ в терминах электрич. схем. Прежде всего само возникновение и развитие Л. м. в значит. степени есть проявление тенденции к «машинизации», автоматизации мыслит. процессов (в т. ч. математич. рассуждений), начиная с наивных (с совр. т. зр.) попыток Р. Луллия сформулировать идею логико-вычислит. машины, и далее через «универсальную характеристику» Лейбница, через первую универс. вычислит. машину англ. матем. Ч. Баббиджа (1833), идеи С. Джевонса и т. д., к совр. этапу развития науки, характеризующемуся тесным взаимным проникновением идей и методов Л. м. и машинной математики, когда выдвигаются и решаются задачи передачи машине все более сложных логич. действий (напр., доказательств математич. теорем).

С др. стороны, значение Л. м. для др. наук состоит не только и не столько в приложениях ее конкретного аппарата, сколько в открытии совершенно новых методов подхода к постановке и решению самых различных задач. Особенно характерным в этом отношении является развитие логико-семантич. методов в лингвистике (непосредственно вытекающих из рассмотрения различных — формализованных и неформализованных — языков), имеющее огромное практическое (машинный перевод, автоматич. реферирование и др.) и теоретическое (для самой лингвистики) значение (см. *Лингвистика математическая*). Совершенно новые перспективы открывает для методологии науки развитие таких разделов Л. м., как *логика модальная*, трактующая категории возможности, необходимости и др. На пути естеств. обобщения исходных представлений двузначной (т. е. рассматривающей высказывания, принимающие одно из двух «значений истинности») логики возникла *логика многозначная*.

Совр. этап развития науки характеризуется проникновением точного, «формального» логич. подхода не только в методологию дедуктивных наук, но и в науки эмпирические и даже в те, к-рые еще недавно считались чисто «описательными» (экономика, педагогика, право). В выяснении сущности и возможностей метода *моделирования*, основного как для классич. естествознания, так и, особенно, для *кибернетики*, решающую роль сыграли идеи и представления, идущие от Л. м.: четкое разграничение формального и содержательного (одновременно с уяснением принципиальной возможности формализовать содержательное и интерпретировать формальное), являющееся завоеванием школы Гильберта, с одной стороны, и конструктивные методы — с другой. Совр. логика, пронизавшая буквально все области научного исследования, и есть то, что по традиции носит условное название Л. м.

Лит.: Гильберт Д., Аккерман В., Основы теоретической логики, пер. с нем., М., 1947; Гильберт Д., Основания геометрии, под ред. и вступ. ст. П. К. Рашевского, М.— Л., 1948; Тарский А., Введение в логику и методологию дедуктивных наук, пер. с англ., М., 1948; Клини С. К., Введение в метаматематику, пер. с англ., М., 1957 (имеется библ.); Новиков П. С., Элементы математической логики, М., 1959; Чёрч А., Введение в математическую логику, под ред. [и с предисл.] В. А. Успенского, т. 1, М., 1960 (имеется библ.); Гудстейн Р. Л., Математическая логика, М., 1961.

Ю. А. Гастев.

ЛОГИКА МНОГОЗНАЧНАЯ (multiple-valued logic; logique de plusieurs chiffres; mehrstellige Logik) — часть *логики математической*, в к-рой рассматриваются логич. исчисления, описывающие высказывания, могущие принимать не обязательно два значения истинности, как в классич. двузначной логике («истина» и «ложь»), а три или более. Если в к.-л. системе Л. м. переменные, обозначающие высказывания, принимают одно из n ($n \geqslant 2$) значений истинности, то такая система наз. n-значной логикой. Рассматриваются также логич. системы, в к-рых допускается бесконечное (напр., счетное) множество значений истинности, т. н. бесконечнозначные (напр. $\aleph_0$-значные) логики.

Первые системы Л. м. (а именно, трехзначной логики высказываний) были рассмотрены польским логиком Я. Лукасевичем [10] в связи с исследованиями по *логике модальной*: третьим значением истинности, наряду с «истиной» и «ложью», была выбрана «возможность» (или «неопределенность»). Такие трехзначные логики могут быть заданы, аналогично классич. двузначной логике высказываний, при помощи т. н. семантич. таблиц истинности, или истинностных таблиц (см. *Алгебра логики*), имеющих, напр., след. вид [здесь $и$ — «истина», $л$ — «ложь», $н$ — «неопределенность», NP (или $\neg P$, $\overline{P}$) — отрицание высказывания P; KPQ (или $P\&Q$, $P \wedge Q$) — конъюнкция высказываний P и Q; APQ (или $P \vee Q$) — дизъюнкция P и Q; CPQ (или $P \supset Q$, $P \to Q$) — импликация P и Q; OPQ (или $P \equiv Q$, $P \sim Q$) — эквивалентность P и Q]

NP

P	
$и$	$л$
$л$	$и$
$н$	$н$

KPQ

P \ Q	$и$	$л$	$н$
$и$	$и$	$л$	$н$
$л$	$л$	$л$	$л$
$н$	$н$	$л$	$н$

APQ

P \ Q	$и$	$л$	$н$
$и$	$и$	$и$	$и$
$л$	$и$	$л$	$н$
$н$	$и$	$н$	$н$

CPQ

P \ Q	$и$	$л$	$н$
$и$	$и$	$л$	$н$
$л$	$и$	$и$	$и$
$н$	$и$	$н$	$н$

OPQ

P \ Q	$и$	$л$	$н$
$и$	$и$	$л$	$н$
$л$	$л$	$и$	$н$
$н$	$н$	$н$	$н$

Амер. математик и логик Э. Пост (1921) подробно описал n-значные логики (для произвольного натур. числа n) при помощи истинностных таблиц в нек-рой арифметике n предметов, из к-рых p ($1 \leqslant p < n$) наз. выделенными. Ф-ла n-значной логики наз. истинной, если при любых значениях аргументов она получает в интерпретации (табличной) выделенное значение. Постом и сов. математиком С. В. Яблонским [4] были получены результаты, соответствующие «теореме о функциональной полноте» двузначной логики высказываний (согласно к-рой каждая из 2^{2^m} возможных ф-ций истинности от m переменных $A_1, A_2, \ldots, A_m$ может быть представлена пропозицион. ф-лой, составленной из этих букв), получены аналоги «законов двойственности» (основанных в двузначной логике на т. н. законах де-Моргана $(\overline{A \vee B}) = (\overline{A} \& \overline{B})$ и $(\overline{A \& B}) = (\overline{A} \vee \overline{B})$ и законе снятия двойного отрицания $\overline{\overline{A}} = A$).

Важным результатом такого рода является теорема сов. математика А. В. Кузнецова [см. 5], дающая необходимые и достаточные условия полноты системы ф-ций n-значной логики для любого конечного n. Более частные критерии полноты, обеспечивающие зато более эффективное построение искомых классов ф-ций, найдены польским математиком Я. Слупецким [см. 5] и С. В. Яблонским [4]. С др. стороны, оказалось, что в n-значных логиках при $n > 2$ имеют место факты, не имеющие аналогов в двузначной логике.

В Л. м. возможны обобщения операций двузначной логики. В частности, в трехзначной логике может быть определена «универс. операция» (т. н. функция Вебба), аналогичная универс. ф-ции Шеффера двузначной логики в том отношении, что через нее могут быть выражены все остальные логич. операции в трехзначной логике. Истинностная таблица для ф-ции Вебба $P|Q$ имеет вид:

$P|Q$

P \ Q	$и$	$л$	$н$
$и$	$л$	$л$	$л$
$л$	$л$	$н$	$и$
$н$	$л$	$и$	$и$

Австр. математик К. Гёдель (1932, см. [6]) показал, что интуиционистское (конструктивное) исчисление высказываний нельзя задать на основе истинностных таблиц ни при каком конечном n; польский логик С. Яськовський (1936, см. [6]) предложил такое описание при $n = \aleph_0$ (без подробного доказательства); осуществить построение конструктивного исчисления высказываний как счетнозначной логики высказываний удалось сов. математику Б. Ю. Пильчак [12] и амер. математику Дж. Роузу [см. 6].

Аналогично упомянутым системам Л. м. строятся и разл. системы n-значного ($n = 3, 4, \ldots$) исчисления предикатов. Такие системы описаны, напр., в [9].

Трехзначная логика была с успехом применена при изучении проблемы логических (теоретико-множественных) парадоксов сов. ученым Д. А. Бочваром [1, 2]. В исчислении Бочвара в качестве третьего значения истинности фигурировала «бессмыслица» — не все высказывания считались выражающими осмысленные суждения — в частности, высказывания, соответствующие парадоксам теории множеств, не выражают в исчислении Бочвара никакого предложения.

Конечно- или бесконечнозначные системы Л. м., в к-рых различным значениям истинности приписываются разл. степени «достоверности» суждений, естественно использовать для формализации вероятностной логики (см. *Логика*); естественно при этом невозможному событию сопоставить число 0, достоверному — число 1; множество «промежуточных вероятностей» можно, в принципе, считать и несчетным. Если в такой системе считать выделенными значения «промежуточных вероятностей» большие нек-рого числа p ($0 < p < 1$), то легко усматривается аналогия с аппаратом, используемым при описании схем, построенных из т. н. пороговых элементов (см. *Логика пороговая*, *Логика мажоритарная*).

Л. м. имеет приложения в теории операторного программирования, в теории переработки дискретной информации в ЦВМ. Наиболее обширны применения аппарата Л. м. при описании контактных и электронных схем. Прежде всего аппарат Л. м. нужен для описания схем, элементы к-рых могут находиться не в двух (как электронные лампы и транзисторы), а в трех или более устойчивых состояниях (напр., трехпозиц. релейно-коммутаторные схемы). Но и схемы, составленные из двухпозиц. элементов, могут потребовать для своего описания аппарата Л. м. В частности, преобразования структурных ф-л релейных схем не могут быть описаны средствами двузначной логики. Аппарат Л. м. оказывается часто более удобным и в тех вопросах теории релейно-контактных схем, где, в принципе, можно было бы обойтись и средствами двузначной логики. Табличный способ задания логич. ф-ций при этом (и в др. случаях) с успехом заменяется менее громоздким заданием посредством ф-л, построенных путем суперпозиций из т. н. «элементарных функций» n-значной логики [4]; при $n = 3$ примером такой элементарной функции может служить ф-ция Вебба. Можно ожидать, что средства Л. м. будут все шире привлекаться при проектировании сложных кибернетич. систем, моделирующих т. н. «творческие» ф-ции человеч. мозга. Аппарат Л. м. с успехом начал применяться к исследованию надежности *нервных сетей*.

Подобно др. разделам математич. логики, Л. м. развивалась не только при помощи упомянутых выше содержательно-функциональных средств, но и с использованием аксиоматическо-дедуктивного метода. В [9], в частности, строится семейство многозначных исчислений высказываний и показывается, как в них решается вопрос о полноте.

Лит.: 1) Бочвар Д. А., Об одном трехзначном исчислении и его применении к анализу парадоксов классического расширенного функционального исчисления, «Матем. сб.», 1938, т. 4 (46), № 2, с. 287—308; 2) его же, К вопросу о непротиворечивости одного трехзначного исчисления, там же, 1943, т. 12 (54), № 3, с. 353—69; 3) Шестаков В. И., О двойной арифметической интерпретации трехзначного исчисления высказываний, используемой при моделировании этого исчисления посредством релейно-коммутаторных схем, в кн.: Применение логики в науке и технике, М., [1960]; 4) Яблонский С. В., О функциональной полноте в трехзначном исчислении, «ДАН СССР», 1954, т. 95, № 6, с. 1153—55; 5) его же, Функциональные построения в многозначных логиках, в кн.: Труды III Всес. матем. съезда. Москва, июнь — июль, 1956, т. 3, М., 1958 (имеется библ.); 6) Клини С. К., Введение в метаматематику, пер. с англ., М., 1957, § 64; 7) Гудстейн Р. Л., Математическая логика, М., 1961; 8) Чёрч А., Введение в математическую логику, т. 1, М., 1960, § 19; 9) Rosser J. B., Turquette A. R., Many-valued logics, Amst., 1952; 10) Lukasiewicz J., O logice trójwartościowej, «Ruch filozoficzny», 1920, t. 5, s. 169—71; 11) Lewis C. I., Langford C. H., Symbolic logic, N. Y., 1950; 12) Пильчак Б. Ю., О проблеме разрешимости для исчисления задач, «ДАН СССР», 1950, т. 75, №6, с. 773 — 776.

Ю. А. Гастев.

ЛОГИКА МОДАЛЬНАЯ (modal logic; logique modale; modale Logik) — раздел *логики*, в к-ром изучаются св-ва логич. операций, именуемых модальностями и обозначаемых т. н. модальными словами «возможно», «необходимо» и т. п., а также правила употребления этих операций в рассуждениях. Модальные слова употребляются в нашей речи в различных смыслах. Так, слово «можно» («возможно») в зависимости от контекста и ситуации может иметь смысл т. н. фактической возможности («Возможно, что завтра пойдет дождь»), возможности относительно тех или иных правил игры, поведения, действий и т. п. («Шахматную партию можно начать ходом королевской пешки») и др. смысл. Аналогично, слово «необходимо» («обязательно», «нужно» и т. д.) может употребляться в смысле логической или фактической необходимости («На следующей неделе обязательно будет среда», «Брошенный камень необходимо падает на землю»), в смысле обязательности относительно правил игры, юридич. законов или правил морали и в др. смыслах. Уточнение смысла модальных слов требует в каждом отдельном случае указания на конкретную ситуацию, в к-рой было применено предложение, содержащее данное модальное слово.

В теоретич. формальной (математической) логике модальности «возможно» и «необходимо» рассматриваются как выражения логич. или фактич. возможности или необходимости; изучение модальностей, выражающих возможность или необходимость относительно нек-рой системы правил, составляет задачу т. н. деонтической логики (логики долженствования), к-рая тесно связана с Л. м. В настоящее время Л. м. является одним из разделов логики математической.

Характерная черта исследований в области Л. м.— отвлечение от зависимости смысла модальных слов от конкретных условий. Поэтому, если буква A обозначает нек-рое предложение, то предложения «Возможно, что A» и «Необходимо, что A» можно, соответственно, обозначить ф-лами $\Diamond A$ и $\Box A$; в этих ф-лах не отражена совокупность условий, в к-рых употребляются приведенные предложения (для обозначения этих условий следовало бы ввести в привед. ф-лы особые символы, напр. индексы при знаках $\Diamond$ и $\Box$).

Л. м. представляет собой нек-рое расширение формально-логич. систем математич. логики, таких, как исчисления высказываний и предикатов. В проводившихся исследованиях Л. м. выступала гл. обр. как расширение классических (т. е. содержащих закон исключенного третьего) исчислений (хотя значение модальностей проявляется особенно резко именно там, где закон исключенного третьего неприменим). В таких исчислениях Л. м. операции $\Diamond$ и $\Box$ связаны друг с другом соотношением: $\Box A \sim \neg\Diamond\neg A$. Здесь $\neg$ есть знак отрицания, $\sim$ выражает эквивалентность ф-л; все соотношение читается: «необходимость предложения A эквивалентна (равнозначна) невозможности его отрицания».

Одной из таких систем Л. м. является система, предложенная Г. Х. Райтом [3]. Она строится след. образом. Введение модальностей приводит к расширению понятия ф-лы классич. исчисления высказываний; соответствующим образом расширяется и понимание постулатов, относящихся к операциям классич. исчисления высказываний. Операция $\Box$ вводится вышеуказ. соотношением, а для операции $\Diamond$ вводятся дополнительно след. постулаты.

Правила вывода: $\dfrac{A}{\Box A}$ и $\dfrac{A \sim B}{\Diamond A \sim \Diamond B}$.

Схемы аксиом (о понятии схемы аксиом см. *Логика математическая*): 1) $A \supset \Diamond A$ и 2) $\Diamond(A \vee B) \sim (\Diamond A \vee \Diamond B)$ (здесь $\supset$ и $\vee$ обозначают, соответственно, операции импликации и дизъюнкции). Если к полученной т. о. системе аксиом (обозначаемой через M) присоединить новую схему аксиом: 3) $\Diamond\Diamond A \supset \Diamond A$, получится более сильная система M'. Присоединение к M, вместо 3), более сильной схемы аксиом 4) $\Diamond\neg\Diamond A \supset \neg\Diamond A$, порождает еще более сильную систему M''. Переход к исчислению предикатов совершается так же, как и в обычных системах математич. логики. Помимо приведенной выше, различные системы Л. м. были предложены Фейсом, амер. логиком К. И. Льюисом, австр. математиком К. Гёделем, Парри, Прайором, польским логиком Я. Лукасевичем и др. Важнейшим предметом изучения в Л. м. является операция т. н. строгой импликации, определяемая посредством ф-лы $\Box(A \supset B)$ или $\neg\Diamond(A \& \neg B)$ (&— знак логич. операции конъюнкции); эта импликация (к-рую следует отличать от обычной, т. н. «материальной» импликации) была предназначена для выражения в логике необходимого характера связи между посылкой и заключением условного предложения. Кроме того, важным предметом изучения в Л. м. являются комбинации модальностей (вида $\Box\Diamond$, $\Diamond\Box\Diamond$ и т. д.).

Изучение модальностей имеет важное значение в связи с тем, что всякое употребление понятия «закон природы» предполагает модальность $\Box$, а также в связи с тем, что любой вопрос о возможности построения (в частности, технического) к.-л. объекта и всякое истолкование абстракций связано, в той или иной мере, с модальностью $\Diamond$.

Развитие кибернетики открыло путь технич. приложениям Л. м. Последнее осуществляется прежде всего через нек-рые построения *логики многозначной* (к-рые в технич. приложениях интерпретируются с помощью понятий Л. м.). С др. стороны, процесс Л. м. имеет важное значение для работ по машинному моделированию сложных форм умств. деятельности человека. Наконец, модальные понятия и связанный с ними логич. аппарат оказывают услуги при рассмотрении вопроса о возможностях (того или иного рода) вычислит. машин и автоматов.

Лит.: 1) Аристотель, Аналитики первая и вторая, [Л.], 1952; 2) Lewis C. I., Langford C. H., Symbolic logic, N. Y., 1950; 3) Wright G. H., An essay in modal logic, Amst., 1951; 4) Prior A. N., Formal logic, 2 ed., Oxf., 1962; 5) Rosser I. B., Turquette A. R., Many-valued logics, Amst., 1952.

А. С. Есенин-Вольпин.

ЛОГИКА ПОРОГОВАЯ (threshold logics; logique des seuils; Schwellen-Logik) — математич. аппарат, используемый для описания функционирования и анализа и синтеза дискретных управляющих и вычислит. схем, построенных из пороговых элементов (ПЭ). Двузначным ПЭ наз. элемент, поведение к-рого в дискретной схеме описывается пороговой ф-цией:

$$y = \operatorname{sign}\left(\sum_{j=0}^{n-1} \xi_j x_j - \eta\right), \qquad (1)$$

где x_j — двоичная переменная (см. *Алгебра логики*), характеризующая состояние j-го входа элемента, y — двоичная переменная, характеризующая состояние выхода элемента, ξ_j и η — целые числа, наз. соответственно весами входов и порогом, а

$$\operatorname{sign} A = \begin{cases} 0 \text{ при } A < 0, \\ 1 \text{ при } A \geqslant 0. \end{cases}$$

Иногда ПЭ, описываемый выражением (1), наз. полярным ПЭ. Неполярный ПЭ реагирует на модуль линейной формы от входных переменных:

$$y = \operatorname{sign}\left(\left|\sum_{j=0}^{n-1} \xi_j x_j\right| - \eta\right). \qquad (2)$$

Аналогично может быть определен трехзначный ПЭ, описываемый трехзначной пороговой ф-цией

$$y = \operatorname{Зн}\left(\sum_{j=0}^{n-1} \xi_j x_j - \eta\right), \qquad (3)$$

где x_j и y принимают значения $+1$ и -1,

$$\operatorname{Зн} A = \begin{cases} +1 \text{ при } \delta < A, \\ 0 \text{ при } -\delta < A < \delta, \\ -1 \text{ при } A < -\delta \end{cases}$$

(δ — разрешающая способность элемента). Двузначные ПЭ реализуются с помощью феррит-транзисторных ячеек с подмагничиванием феррита, тр-ров с транзисторным усилителем, параметронов, криогенных элементов, многообмоточных реле и др. В качестве трехзначных ПЭ используются параметроны в режиме жесткого возбуждения.

Вопросы, связанные с анализом и синтезом ПЭ и схем, обычно рассматривают на геометрич. модели. Если входам элемента поставить в соответствие оси n-мерного эвклидова пространства, то все возможные 2^n комбинаций состояний входов образуют множество 2^n вершин n-мерного единичного куба. ПЭ соответствует гиперплоскость

$$\sum_{j=0}^{n-1} \xi_j x_j - \eta = 0, \qquad (4)$$

к-рая рассекает множество вершин куба на две части, для вершин одной из к-рых

$$\sum_{j=0}^{n-1} \xi_j x_j - \eta \geqslant 0,$$

а для другой

$$\sum_{j=0}^{n-1} \xi_j x_j - \eta < 0.$$

Задача синтеза элемента при этом сводится к задаче разделения двух множеств точек в n-мерном пространстве гиперплоскостью. Логич. ф-ции, соответствующие ПЭ, монотонны, т. е. их миним. дизъюнктивные формы не содержат ни одной переменной одновременно с ее отрицанием.

Синтез элемента, требующий решения системы линейных неравенств, существенно упрощается, если произвести упорядочение переменных по значению весов входов.

Вопросы синтеза схем из ПЭ, реализующих произвольную ф-цию алгебры логики, пока практически не разработаны. Как правило, все описанные до сих пор методы сводятся либо к разбиению данной ф-ции на реализуемые части, причем оптим. разбиение находится перебором, либо к построению пирамидальных схем обычным методом разложения по переменным. Вопросы, связанные с синтезом трехзначных ПЭ и сетей из них, пока еще мало разработаны. Трехзначный ПЭ, как и двухзначный, допускает геометрич. интерпретацию.

Задача синтеза трехзначных ПЭ решается обычно при помощи стандартных методов *линейного программирования*.

Лит.: Варшавский В. И., Некоторые вопросы теории логических сетей, построенных из пороговых элементов, в кн.: Вопросы теории математических машин, сб. 2, М., 1962; Боголюбов Н. Н., Троичные пороговые (мажоритарные) элементы и вопросы их синтеза, в кн.: Международный симпозиум по теории релейных устройств и конечных автоматов. 24 сент.— 2 окт. 1962. Тезисы докладов, М., 1962; Muroga S., Toda T., Takasu S., Theory of majority decision elements, «J. Franklin Inst.», 1961, v. 271, № 5; Minnick R., Linear-input logic, «IRE Trans. Electronic Comput.», 1961, v. EC-10, № 1; Stram O. B., Arbitrary Boolean functions of N variables realizable in terms of threshold devices, «Proc. I.R.E.», 1961, v. 49, № 1; Einhorn S. N., The use of the simplex algorithm in the mechanization of Boolean switching functions by means of magnetic cores, «IRE Trans. Electronic Comput.», 1961, v. EC-10, № 4.

В. И. Варшавский.

ЛОГИЧЕСКАЯ МАШИНА (logical machine; machine logique; logische Maschine) — специализированная ЦВМ, предназнач. для решения задач *алгебры логики*. Применяется при проектировании релейноконтактных схем, электронных переключат. схем, а также при решении различных комбинаторных задач (составление расписаний, проверка сборников правил на непротиворечивость и т. п.). Перед решением задачи Л. м. задаются условия задачи — логич. связи между переменными. Сущность решения состоит в нахождении таких комбинаций значений элементарных переменных, при к-рых будут истинными заданные сложные логич. выражения. Простейший метод решения — перебор всех возможных комбинаций элементарных переменных и фиксация тех комбинаций, при к-рых заданные логич. выражения оказываются истинными. При увеличении числа элементарных переменных резко растет число возможных комбинаций ($N = 2^n$, где 2 — число возможных значений логич. переменной, n — число переменных). Поэтому при больших количествах элементарных переменных применяют более сложные алгоритмы поиска решений. Примером может служить способ, основанный на введении *обратных связей* между выходами отдельных схем, проверяющих выполнение частных логич. условий (входящих в сложное выражение), и входами этих схем. Если к.-л. частное условие не выполняется, то сигнал обратной связи с выхода соответствующей схемы вызывает изменение значений элементарных переменных, подаваемых на входы этой схемы. Изменения будут до тех пор, пока не удовлетворится данное частное условие. Пребывание системы в равновесии будет свидетельствовать о том, что установленная на входах всех частных схем комбинация элементарных переменных является решением заданной логич. задачи.

Все логич. задачи могут решаться на универс. ЦВМ, но применение для этих целей спец. Л. м. в ряде случаев выгоднее, т. к. они проще по конструкции, не требуют программирования и могут решать задачи быстрее. Иногда название «Л. м.» используется для обозначения *информационных машин*.

А. И. Китов.

Л. м. для анализа и синтеза релейных схем позволяют решать сложные задачи релейной техники, связанные с большим объемом вычислений (сотни тыс. и миллионы логич. операций), и улучшают качество разработок за счет более полного исследования поведения релейных схем в различных, в т. ч. аварийных, режимах их работы при анализе и за счет получения в том или ином смысле оптим. решений при синтезе.

Существующие ныне машины являются специализир. Л. м. в том смысле, что они работают по жесткой программе в соответствии с залож. в них алгоритмом анализа или синтеза. Во многих случаях они позволяют решать и др. логич. задачи, не связанные непосредственно с релейной техникой.

Все Л. м. имеют устройства для выполнения логич. операций, узлы ввода условий и вывода результатов решения задач, а также узлы управления. Первая Л. м. для решения нек-рых задач анализа и синтеза релейных схем — релейный схемный анализатор (1953, США) [1]. Он позволяет исследовать двухполюсные релейные схемы, построенные из контактов не более чем 4 реле. Узлом ввода служит штепсельная доска, к гнездам к-рой подключены контакты 4 реле, принимающих в процессе работы машины последовательно во времени все возможные 16 комбинаций состояний. Исследуемая схема моделируется на штепсельной доске при помощи шнуровых соединений. Условия работы, к-рым должна удовлетворять схема, вводятся в машину путем установки в одно из 3 возможных положений 16 переключателей. Положения переключателей соответствуют рабочим, запрещенным и безразличным состояниям схемы. Анализатор непригоден для полного анализа многотактных схем (см. *Релейное устройство многотактное*) и схем, содержащих, кроме контактов, также и обмотки реле.

В 1955 в СССР был построен матричный анализатор, машинизирующий операции матричного метода анализа (см. *Релейных устройств анализ*). Варианты матричного анализатора выполнены на электромеханич. реле, шаговых искателях и используют перфокарты. Получаемые на анализаторе результаты не дают возможности без дополнит. обработки сформулировать условия работы элементов схем, в к-рых реагирующие органы снабжены шунтирующими цепями или включены последовательно. Исследование многотактных схем на анализаторе механизировано мало; полная автоматизация затруднена из-за принятого способа ввода условий задачи. Возможна автоматич. печать результатов анализа.

Первой быстродействующей Л. м. был электронный анализатор контактных схем (1957, СССР) [2], являющийся электронным аналогом анализатора Шеннона и Мура [1].

Л. м. для анализа релейных схем (1958, СССР) [3] позволяет выполнять структурный анализ однотактных и многотактных релейно-контактных схем, определять последовательности действия элементов во времени при различных нач. состояниях схемы, допускает ручную запись и автоматич. печатание результатов. Первый вариант машины имел емкость на 20 элементов анализируемой схемы. Анализируемая схема вводится в машину путем набора ее шнуровыми соединениями на штепсельной доске, к гнездам к-рой подключены контакты, обмотки, сопротивления и вентили, т. е. осн. элементы, используемые при построении релейноконтактных схем. При структурном анализе схемы машина реализует алгоритм разложения булевой ф-ции на конституенты единицы, причем многотактная схема воспринимается машиной в виде ее *эквивалента однотактного*. Для многотактных схем машина выдает последовательность действия элементов во времени — *таблицы включения*. Управляются воспринимающие элементы анализируемой схемы и задаются нач. состояния для многотактной схемы переключателями, к-рые используются также для ввода в машину заданной таблицы включений, когда стоит задача определения соответствия анализируемой многотактной схемы заданной таблице. Машине можно задавать различные замедления на отпускание для промежуточных реле схемы. Более соверш. вариант машины для анализа релейных схем — блочный анализатор релейных схем — БАРС (1959, СССР, см. вклейку). Он состоит из 3 типов блоков: блока управления, рабочих блоков, число к-рых определяется объемом решаемой задачи (каждый блок выполнен на 7—8 элементов анализируемой схемы), и блоков задержки, число к-рых определяется числом реле, срабатывающих или отпускающих с задержкой во времени (каждый блок позволяет задавать задержку от 1 до 7 тактов работы машины). Результаты анализа выдаются на сигнальные лампы или печатаются на бумажной ленте спец. печатающим устройством. БАРС практически не имеет ограничений по емкости, прост в управлении и эксплуатации. Построен на электромеханич. реле, скорость работы — 10—15 операций в сек.

Все Л. м. для структурного анализа релейных схем (кроме матричного анализатора) используют метод, согласно к-рому любая булева ф-ция f от переменных x_i, $i=1, \ldots, p$ может быть представлена в виде булевой суммы членов, каждый из к-рых является булевым произведением всех p переменных или их отрицаний, взятых в различных комбинациях:

$$f(x_i) = \sum_{l=0}^{2^p-1} h_l \prod_{i=1}^{p} \tilde{x}_i.$$

Здесь $\tilde{x}_i = x_i$ или $\bar{x}_i$ (отрицание x_i), $h_l = 1$ (соответствующая цепь присутствует в схеме) или 0 (в противном случае). Поэтому число операций, выполняемых Л. м. при структурном анализе схемы, кратно 2^p. При определении последовательности действий элементов схемы число операций кратно числу тактов (длине) последовательности.

Первая полуавтоматич. логич. машина для синтеза структур (в т. ч. мостиковых) релейных схем была разработана в 1956 в Чехословакии [4]. Лабораторный макет машины позволял выполнять синтез контактных схем с числом реле не более 6, причем число рабочих и запрещ. состояний в заданных условиях работы синтезируемой схемы не превышало 32. Машина автоматизировала осн. операции комбинаторного метода синтеза контактных многополюсников (см. *Синтез релейных устройств*). Построение модели схемы в процессе работы машины, а также выбор порядка следования операций метода осуществлял оператор. Машина в десятки раз ускорила процесс построения структуры схемы.

Число операций, выполняемых машиной в процессе синтеза структуры, содержащей a узлов и построенной на контактах p реле, пропорционально $2^p \cdot C_a^2$.

Первая автоматич. машина для синтеза контактных схем (1957, СССР) [5] реализовала алгоритм графич. метода синтеза контактных многополюсников. На рис. (см. на отд. листе) показан вариант машины для синтеза схем, содержащих контакты не более 4 реле и имеющих не более 2 исполнит. цепей. Условия работы синтезируемой схемы вводятся в машину при помощи 2 групп трехпозиц. переключателей (по 16 переключателей в каждой группе). Положения переключателей соответствуют рабочим, запрещенным и неиспользуемым состояниям исполнит. цепей схемы. Результаты работы машины показываются на световом табло в виде светящейся структуры схемы. Машина выдает различные варианты структуры, зависящие от порядка присвоения весов реле синтезируемой схемы. Машина построена на электромеханич. реле. Время выдачи одного варианта схемы составляет десятки сек. Увеличение емкости машины сопряжено с быстрым увеличением затрат аппаратуры и габаритов машины.

Число операций для получения одного варианта структуры схемы $(1,k)$-полюсника p переменных составляет

$$2 \cdot C_{p-1}^2 \sum_{i=0}^{} h \cdot 2^i.$$

Число вариантов равно $p!$

Л. м. для получения миним. членов (*импликантов простых*) булевых ф-ций, характеризующих релейные цепи, создана в 1961 (СССР) (см. вклейку). Она выполнена на электронной аппаратуре, ее емкость — 6 переменных. Условия задачи вводятся в машину на перфокартах, отверстия в к-рых соответствуют рабочим и запрещ. состояниям. Отверстия читаются при помощи матричной системы механич. контактов. Машина реализует алгоритм минимизации, известный под назв. метода проб. Выдача результатов работы машины осуществляется сигнальными лампами. Предусмотрена автоматич. печать результатов.

Число элементарных операций для получения общей миним. формы булевой ф-ции p переменных не превышает

$$2^p \cdot 3^p + \frac{N_{\max}^2}{2},$$

где $N_{\max}$ — наибольшее возможное число импликантов частной миним. формы.

Теоретич. работы по усовершенствованию и созданию новых Л. м. направлены на отыскание новых машинных алгоритмов, особенно алгоритмов получения оптим. структур релейных устройств с большим числом элементов. Одновременно работают над построением алгоритмов машинизации всех этапов синтеза релейных устройств, начиная от этапа формализации записи условий работы устройства и кончая этапом получения готовой структуры. Делаются попытки создания универс. Л. м. с гибкой программой, позволяющей решать на одной машине широкий класс логич. задач, в т. ч. задач релейной техники. Особый интерес представляют алгоритмы получения приближ. решений с известной степенью приближения к оптимальным. Создание таких алгоритмов позволит преодолеть принцип. трудности решения задач с большим числом переменных, когда количество операций становится слишком большим и время решения даже для самых быстродействующих машин оказывается неприемлемым. С этой точки зрения интересны попытки привлечения вероятностных методов для решения задачи дискретной техники. В реализации Л. м. явно выражена тенденция перехода от электромеханич. аппаратуры к бесконтактным элементам.

Лит.: 1) Shannon C. E., Moore E. F., Machine aid for switching circuit design, «Proc. I.R.E.», 1953, v. 41, № 10; 2) Родин В. Н., Электронный анализатор контактных схем, «АиТ», 1957, т. 18, № 5; 3) Пархоменко П. П., Анализ релейных схем при помощи машины, там же, 1959, т. 20, № 4; 4) Свобода Ф., Синтез релейных схем при помощи машин, там же, 1957, т. 18, № 3; 5) Архангельская А. А., Лазарев В. Г., Рогинский В. Н., Машина для синтеза контактных схем, «Проблемы передачи информации», 1959, вып. 1; 6) Тимофеев Б. Л., Механизация процесса нахождения минимальных вариантов релейных цепей в классе дизъюнктивных нормальных форм, в кн.: Автоматическое управление, М., (1960).

П. П. Пархоменко.

ЛОГИЧЕСКАЯ ОПЕРАТОРНАЯ СХЕМА ЭЦМ (operational logical circuit of digital computer; circuit opérationnel logique de calculatrice numérique; logisches Operatorschema der Ziffern-Rechenmaschine) — одна из форм описания ЭЦМ и ее функционирования.

Любую цифровую ЭВМ можно рассматривать как совокупность памяти и операц. устройства. При описании ЭЦМ в виде Л. о. с. под операц. устройством понимают совокупность т. н. операц. элементов, осуществляющих преобразования сигналов, а под памятью машины — совокупность т. н. ячеек. При этом ячейками считаются не только запоминающие элементы машин, но и каналы связи, по к-рым передаются сигналы от одних операц. элементов к др. Память машины и ее операц. устройство связаны между собой т. о., что на входы каждого операц. элемента сигналы поступают только из ячеек и с выходов операц. элементов передаются только в ячейки. Для одной и той же машины память может быть определена по-разному в зависимости от того, что понимается под операц. элементами. При этом получаются описания ЭВМ, имеющие различную глубину. Так, напр., имея нек-рое описание ЭВМ, можно принятые в этом описании операц. элементы объединить определ. образом в группы и эти группы принять за операц. элементы для нового описания ЭВМ. Ячейки, внутренние для упомянутых групп, уже не будут фигурировать в составе памяти, принятой при новом описании.

Элементарной ячейкой, или разрядом, наз. ячейку, для к-рой существуют два возможных состояния: одно поставлено во взаимно однозначное соответствие 0, а другое — 1. Пусть всякая ячейка представляет собой последовательность разрядов, перенумерованных последоват. целыми числами. Очевидно при этом всякое состояние любой ячейки взаимно однозначно соответствует нек-рому двоичному числу. Ячейки могут между собой пересекаться; напр., регистр команд ЭВМ сам является ячейкой и содержит в себе ячейки (а значит пересекается с ними) для хранения

адресов команды и кода операции. Блоком ячеек наз. группу непересекающихся ячеек (пример — оперативное ЗУ).

При составлении Л. о. с. ЭВМ отдельные ячейки (не входящие в блоки) и блоки ячеек обозначают буквами, напр. x, α, R, X и т. п. Ячейки, входящие в блоки, нумеруют и обозначают буквой (символ блока) с индексом, равным номеру ячейки в блоке (напр., X — блок ячеек, X_{25} — ячейка № 25 этого блока).

Функционирование операц. устройства машины состоит из актов, каждый из к-рых заключается в том, что по состояниям нек-рой упорядоч. совокупности ячеек $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$ определяется новое состояние нек-рой ячейки α_i. Т. о., каждый акт представляет собой выполнение нек-рого осн. оператора над памятью машины (см. *Оператор логической схемы*). Применяя обозначения, принятые для осн. операторов, можно каждый акт описать с помощью ф-лы:

$$\alpha_i := \varphi(\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n), \qquad (1)$$

где $:=$ называется знаком присваивания. Если ячейка α_i является частью ячейки α_j и состоит из ее разрядов с номерами от n_1 до n_2, то

$$\alpha_i := \alpha_j]_{n_1}^{n_2}. \qquad (2)$$

Если ячейка α_i состоит из ячеек $\alpha_j^1, \alpha_j^2, \ldots, \alpha_j^k$, то будем писать

$$\alpha_i := \alpha_j^1 \mid \alpha_j^2 \mid \ldots \mid \alpha_j^k. \qquad (3)$$

Состояние блока X ячеек описывается единой ф-лой:

$$N = f_X(n), \qquad (4)$$

где n — номера ячеек, входящих в блок, а N — отвечающие им состояния. Акт функционирования, состоящий в том, что ячейке α_i придается состояние, одинаковое с состоянием ячейки X_{n_1} блока X (т. наз. «перенос», или считывание из ячейки X_{n_1}), представляется ф-лой:

$$\alpha_i := f_X(n_1), \qquad (5)$$

являющейся частным случаем ф-лы (1). Если в блоке X его ячейке X_{n_1} придается состояние, одинаковое с состоянием ячейки α, то это записывается в виде:

$$f_X := A(f_X, \alpha, n_1). \qquad (6)$$

В (6) символ f_X в левой части ф-лы означает «старое», а в правой — «новое» состояние блока. Перенос из ячейки с номером n_1 блока X в ячейку X_{n_2} того же блока с помощью (6) описывается ф-лой:

$$f_X := A(f_X, X_{n_2}, n_1). \qquad (7)$$

При описании функционирования операц. устройства машины последовательность актов будет изображаться как столбец ф-л вида (1), (2), (3), (5), (6). Ф-лы вида (2) и (3), выражающие состояния одних ячеек через др., но не обозначающих никаких действий, условились тоже называть описаниями актов (фиктивных). Такие столбцы являются действующими операторами логич. схемы.

Составление Л. о. с. ЭЦМ состоит из следующих шагов:

1) определение состава и структуры памяти машины, т. е. составление перечня отдельных ячеек, перечня пересечений ячеек и перечня блоков ячеек;

2) обозначение ячеек и их блоков условными символами, нумерация ячеек внутри блоков;

3) составление операторов логич. схемы, описывающих функционирование ЭЦМ и объединение их в Л. о. с. ЭЦМ.

Поясним этот процесс на примере упрощенной цифровой машины (УЦМ): 1) УЦМ — одноадресная машина с суммирующим регистром команд, обеспечивающим возможность переадресации команд в УУ. При выполнении нек-рых команд в УЦМ вырабатывается «явный» сигнал ω для его использования при выполнении команд условного перехода. Значение этого сигнала сохраняется до тех пор, пока не будет выработано его новое значение; 2) УЦМ снабжена устройством ввода с перфоленты. Код для ввода состоит из числа, подлежащего вводу, номера ячейки оперативной памяти, в к-рую должно быть записано это число, и одноразрядного признака, равенство к-рого единице означает необходимость ввода следующего числа, пробитого на перфоленте. Для запуска устройства ввода из УУ на спец. триггер подается сигнал, по к-рому перфолента перемещается до тех пор, пока под считывающий блок устройства ввода не будет подведен очередной код (группа пробивок). Этот код считывается и фиксируется во входном регистре, после чего происходит сброс триггера; 3) устройство вывода УЦМ печатает на рулонной бумаге числа, представл. в десятичной системе счисления. Оно имеет спец. выходной регистр, в к-рый должно быть предварительно перенесено число, предназнач. для печатания. По сигналу, поступающему из УУ на спец. триггер, производится перемещение бумажной ленты на один интервал, печать содержимого выходного регистра, сброс триггера и сброс выходного регистра; 4) система команд УЦМ приведена в табл. Код операции имеет вид $0a$, где 0 — код операции, a — адрес; 5) память УЦМ (рис. 1) состоит из трех блоков ячеек и ряда отдельных ячеек. Блок X — память на перфоленте, входящая в состав устройства ввода (состояние этой памяти f_X); блок Z — оперативная память (ее состояние f_Z); блок Y — память на бумажной ленте (на к-рой печатаются результаты), входящая в состав устройства вывода (состояние этой памяти f_Y). В устройство ввода входят, кроме того, триггер v (одноразрядная ячейка), входной регистр r, объединяющий в себе три ячейки α, N и τ (τ — одноразрядная ячейка), и счетчик введенных кодов μ. В устройство вывода, кроме Y, входят выходной регистр ϱ и счетчик отпечат. кодов δ. В состав АУ входят регистр R, состоящий из разрядов R_0 (знаковый разряд), $R_1, R_2, \ldots, R_n$, и сумматор S, состоящий из разрядов S_{-1}, S_0 (2 знаковых разряда), $S_1, S_2, \ldots, S_n$. Регистр R имеет дополнительный знаковый разряд R_{-1}.

Разряды регистра $R_1, R_2, \ldots, R_n$ образуют ячейку R'', а разряд R_{-1} вместе с R — ячейку R'. В состав УУ входят ячейки k — регистр команд (состоит из двух ячеек 0 и a), счетчик-регистр номера команды ν и одноразрядные ячейки ω (триггер сигнала ω), t (триггер «останова»), u (триггер признака того, что предыдущей была команда «изменение команды») и φ (триггер сигнала переполнения). Кроме того, на панели сигнализации размещены сигнализирующие (с помощью лампочек) ячейки $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ и λ_4.

Система команд УЦМ

Код операции	Название команды	Описание действий, производимых УЦМ по команде
01 02 03	Сложение Вычитание Умножение	Операция выполняется над числом, записанным в сумматоре, и числом, хранящимся в ячейке. Результат фиксируется в сумматоре; $\omega = \mathrm{sign} S$, где S — результат *.
04	Деление	
05	Посылка в сумматор	Содержимое ячейки a заносится в сумматор.
06	Сравнение	Подразрядное выполнение отрицания равнозначности числа, записанного в сумматоре, и числа, хранящегося в ячейке a. Результат фиксируется в регистре АУ и в сумматоре. Сигнал ω равен 0 при наличии нулей во всех разрядах результата и равен 1 в остальных случаях.
07	Логич. умножение	Поразрядное выполнение логич. умножения. Остальное как для команды с кодом операции 06.
10	Логич. сложение	Поразрядное выполнение логич. сложения. Остальное как для команды с кодом операции 06.
11	Посылка в ячейку	Число, записанное в сумматоре, фиксируется в ячейке a.
12	Условный переход	Передача управления при $\omega = 1$ в ячейку a, при $\omega = 0$ — следующей команде. ω не изменяется.
13	Безусловный переход	Передача управления в ячейку a.
14	Изменение команды	Следующая команда увеличивается на число, записанное в ячейке a. ω не изменяется.
15	Ввод	Ввод группы кодов с перфоленты в оперативную память, начиная с очередного и кончая первым кодом, у к-рого признак продолжения ввода равен 0. ω не изменяется, значение a — безразлично.
16	Печать	Печатается одно число (запис. в сумматоре). ω не изменяется, значение a — безразлично.
17	Останов	Останов машины. Значение a — безразлично. На панель сигнализации выдаются: содержимое сумматора, номер ячейки оперативной памяти (на единицу больший номера ячейки, в к-рой хранится команда, вызвавшая останов), значение сигнала φ, признак останова по команде. ω не меняется.
—	Останов по переполнению (т. е. при $\varphi=1$)	То же, что по команде с кодом операции 17, за исключением признака останова по команде.
—	Нач. пуск (производится нажимом кнопки на пульте управления)	В счетчике-регистре номера команды устанавливается 1. Выполняется команда ввода; $\omega = 0$; $\varphi = 0$.
—	Пуск (производится нажимом кнопки на пульте управления)	Вырабатывается $\varphi = 0$. ω не меняется. Начинается выполнение очередной команды программы.
—	Останов с пульта управления (спец. кнопкой)	То же, что по команде с кодом 17, за исключением выдачи сигнала останова по команде.

Примечание.* При выполнении команды с кодом операции 01, 02, 03 и 04 сигнал переполнения φ либо равен 1, если абс. величина результата больше или равна 1, либо равен 0. При нач. пуске и пуске всегда вырабатывается сигнал $\varphi=0$. При др. значениях кода операции выполнение команды не связано с изменением значения сигнала φ.

Л. о. с. УЦМ приведена на рис. 2. На этой блок-схеме приняты следующие условные обозначения знаков действий:

1) «$\wedge$», «$\vee$», «$\sim$» — знаки логич. операций (логич. умножения, логич. сложения и отрицания равнозначности), выполняемых поразрядно над двумя двоичными кодами одинаковой разрядности;

2) «$\bar{}$» (черта над буквой или числом) — знак поразрядной операции логич. отрицания;

3) $\bigcup_{i=0}^{n} x_i$ — сокращ. обозначение выражения $x_0 \vee x_1 \vee \ldots \vee x_n$, где x_i — одноразрядные двоичные числа;

4) знак логич. умножения с точкой наверху «$\dot{\wedge}$» — поразрядная операция логического умножения между одноразрядным и многоразрядным двоичными кодами (операция производится над одноразрядным двоичным кодом и каждым разрядом многоразрядного двоичного кода, результат многоразрядный);

5) $[\ ]_{\text{обр}}$ — знак операции получения обратного кода с одним знаковым разрядом (см. *Код обратный*);

6) $[\ ]^2_{\text{обр}}$ — знак операции получения обратного кода с двумя знаковыми разрядами;

7) $\oplus$ знак сложения с круговым переносом (из старшего разряда сумматора в младший);

8) «$+$», «$-$», «$\cdot$», «$:$» — знаки арифметич. действий.

В буквенном виде эта схема может быть представлена в следующем виде (см. *Логическая схема программы*):

$$H_0 D_0 \lfloor_{20}^{} H_1 D_1 \lfloor_{2}^{} P_1 \lfloor_{1}^{} Я \lfloor_{1}^{} D_2 P_2 \lfloor_{15}^{} D_3 P_3 \lfloor_{3}^{} D_4 \lfloor_{5}^{} \times$$
$$\times \lfloor_{3}^{} P_4 \lfloor_{4}^{} D_5 \lfloor_{5}^{} D_6 \lfloor_{7}^{} \lfloor_{4}^{} P_5 \lfloor_{6}^{} D_7 D_8 \lfloor_{14}^{} \lfloor_{6}^{} P_6 \lfloor_{8}^{} D_9 \lfloor_{7}^{} \times$$
$$\times \lfloor_{8}^{} P_7 \lfloor_{9}^{} P_8 \lfloor_{10}^{} D_{10} \lfloor_{14}^{} \lfloor_{10}^{} D_{11} \lfloor_{9}^{} \lfloor_{9}^{} P_9 \lfloor_{11}^{} D_{12} \lfloor_{13}^{} \lfloor_{11}^{} P_{10} \times$$
$$\times \lfloor_{12}^{} D_{13} \lfloor_{13}^{} D_{14} \lfloor_{14}^{} \lfloor_{12}^{} P_{11} \lfloor_{1}^{} D_{15} \lfloor_{13}^{} \lfloor_{14}^{} D_{16} \lfloor_{2}^{} \lfloor_{15}^{} P_{12} \times$$
$$\times \lfloor_{16}^{} D_{17} \lfloor_{14}^{} \lfloor_{16}^{} P_{13} \lfloor_{17}^{} D_{18} \lfloor_{14}^{} \lfloor_{17}^{} P_{14} \lfloor_{18}^{} D_{19} \lfloor_{14}^{} \lfloor_{18}^{} P_{15} \times$$
$$\times \lfloor_{19}^{} D_{20} \lfloor_{14}^{} \lfloor_{19}^{} P_{16} \lfloor_{22}^{} \lfloor_{20}^{} D_{21} \lfloor_{21}^{} P_{17} \lfloor_{14}^{} D_{22} \lfloor_{21}^{} \lfloor_{22}^{} P_{18} \lfloor_{23}^{} \times$$
$$\times D_{23} \lfloor_{14}^{} \lfloor_{23}^{} D_{24} \lfloor_{14}^{} \qquad (8)$$

Описания операторов, входящих в (8), приведены в логич. схеме (рис. 2), где H_0 — нач.

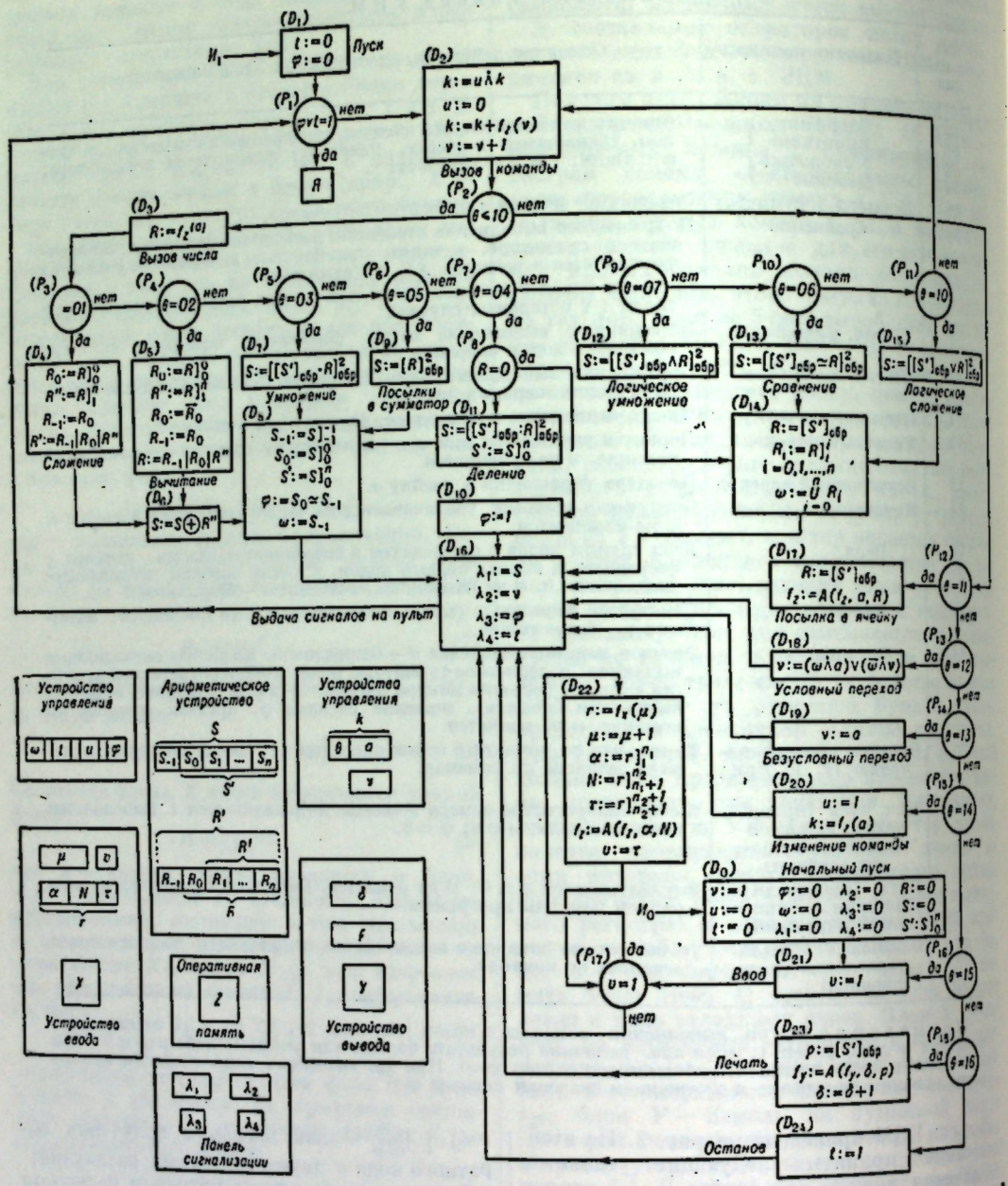


Рис. 1. Блок-схема памяти упрощ. цифровой машины.

Рис. 2. Логич. операторная схема упрощ. цифровой машины.

пуск, $И_1$ — пуск, а $Я$ — оператор конца (прекращение функционирования).

Л. о. с. ЭЦМ позволяет произвести анализ системы команд машины и может быть использована как логич. схема программы для построения программной модели описанной ею ЭЦМ на другой ЭЦМ (что бывает иногда полезно при разработке новых машин); при этом возможно при проектировании ЭВМ применять аппарат формальных преобразований (см. *Равносильные преобразования логических схем*), а также, пользуясь описаниями машин в виде логич. схемы, сравнивать между собой логику этих машин. *И. А. Кришкий.*

ЛОГИЧЕСКАЯ ОПЕРАЦИЯ машинная (logical operation; opération logique; logische Operation) — 1. Операция из группы неарифметич. операций над двоичными кодами. Пусть двоичные коды a и b имеют вид

$$a=a_1a_2\dots a_n,$$
$$b=b_1b_2\dots b_n$$

и пусть результатом операции является код

$$c=c_1c_2\dots c_n,$$

где a_i, b_i и c_i — двоичные цифры ($i=1,2,\dots,n$). К числу Л. о. относятся различные поразрядные двоичные операции (см. *Двоичная функция*), результаты которых отличны от тождеств. констант. Наиболее распространены Л. о. следующие: а) поразрядное отрицание или инвертирование — одноместная операция, к-рую можно описать ф-лой

$$c_i=\bar{a}_i \quad (i=1,\ 2,\ \dots,\ n).$$

Напр., если $a=0011101001$, то $c=1100010110$. Операция инвертирования, в частности, применяется при преобразовании прямого кода в обратный или в дополнительный, или при обратном преобразовании одного из последних кодов в прямой. При этом она применяется к цифровой (а не к знаковой) части преобразуемого кода;

б) поразрядное логич. умножение двух кодов, определяемое ф-лой

$$c_i=a_i\wedge b_i \quad (i=1,\ 2,\ \dots,\ n).$$

Напр., если $a=0011101001$, $b=1010110110$, то $c=0010100000$. Поразрядное логич. умножение часто применяют для «выделения» к.-л. частей кода с помощью специально подобранных наборов нулей и единиц, наз. вспомогат. числами. Напр., из кода $a=1011101011$ с помощью этой операции, применяя набор $b=1111000000$, можно «выделить» четыре первые разряда. При этом получится $c=1011000000$;

в) поразрядное логич. сложение двух кодов, определяемое ф-лой

$$c_i=a_i\vee b_i \quad (i=1,\ 2,\ \dots,\ n).$$

Напр., если $a=1000110010$, $b=1101011001$, то $c=1101111011$. С помощью поразрядного логич. сложения можно «формировать» из двух кодов третий. Напр., из $a=1110000000$ и $b=0000000101$ получается $c=1110000101$. Описанное «формирование» часто производят над частями кодов, «выделенными» с помощью операции поразрядного логич. умножения и соответствующим образом «сдвинутыми»;

г) сравнение или поразрядное отрицание равнозначности, определяемое ф-лой

$$c_i=a_i\barwedge b_i \quad (i=1,\ 2,\ \dots,\ n).$$

Сравнение применяется для определения поразрядного тождества кодов. Результат операции содержит нули в тех разрядах, в к-рых исходные коды имеют одинаковые цифры, и единицы в тех разрядах, в которых исходные коды отличаются друг от друга. Напр., если $a=1110111000$, $b=1111011001$, то $c=0001100001$.

Кроме поразрядных двоичных операций, к числу Л. о. часто относят операцию сдвига кода на заданное число k разрядов. Операция сдвига определяется ф-лой:

$$c_i=\begin{cases} a_{i-k} \text{ при } 1\leqslant i-k\leqslant n,\\ 0 \text{ при остальных значениях } i-k\end{cases}$$
$$(i=1,\ 2,\ \dots,\ n).$$

Операцию сдвига на k разрядов при $k>0$ иногда наз. сдвигом на k разрядов вправо, а при $k<0$ — сдвигом на $|k|$ разрядов влево. Напр., производя сдвиг на 3 разряда вправо числа $a=1111001111$, получают $c=0001111001$, сдвигая то же число на 3 разряда влево, имеют $c=1001111000$.

Назв. Л. о. связано с тем, что между двоичными операциями и логич. связями, изучаемыми в *алгебре логики*, существует тесная связь — *изоморфизм*. С помощью Л. о. можно по заданным значениям истинности элементарных высказываний определять значения истинности сложных высказываний, составленных из них (если предусмотренные в машине поразрядные двоичные операции образуют полную систему). Несмотря на это, название Л. о. применительно к описанным операциям является неудачным, ибо они являются не более чем операциями над кодами и в этом отношении аналогичны арифметич. операциям.

2. Группа машинных операций, заключающихся в вычислении значений различных *предикатов* и записи результатов в спец. одноразрядные ЗУ, предназнач. для хранения сигналов, изменяющих при выполнении команд *перехода условного* порядок выполнения программы (см. *Операция машинная*). Л. о. являются проверками различных св-в кодов. Многие команды машины предусматривают, кроме выполнения той или иной операции над кодами, также ту или иную Л. о. над получаемым результатом (как правило, без стирания результата операции над кодами). Напр., во многих машинах команда, требующая сложения двух чисел, требует также выполнения проверки знака суммы. Наиболее часто встречаются следующие Л. о. Пусть подвергаемый проверке код имеет вид $a=a_1,\ a_2,\dots,a_n$, где a_i — двоичные цифры ($i=1,\ 2,\dots,\ n$).

а) Проверка знака числа — простейшая операция, описываемая ф-лой $\omega=a_1$. Если код a является прямым, обратным или дополнительным кодом нек-рого числа x, а разряд a_1 — знаковым разрядом, то при $x>0$ $\omega=0$, а при $x<0$ $\omega=1$ (отсюда и название операции).

б) Проверка переполнения разрядной сетки при сложении определяется ф-лой $\varphi=a_1\barwedge a_2$. Если код a — обратный или дополнит. код результата сложения двух чисел с фиксиров. запятой с двумя знаковыми разрядами a_1 и a_2, то $\varphi=1$ свидетельствует о переполнении разрядной сетки. В ряде машин φ используется в качестве сигнала, вызывающего автоматич. останов, в других — для изменения порядка выполнения программы.

в) Проверка абс. величины числа определяется ф-лой

$$\omega=\bar{a}_v\wedge(a_{v+1}\vee a_{v+2}\vee\dots\vee a_n).$$

Если код a изображает число x в форме с плавающей запятой, причем a_v — знаковый разряд порядка, представл. в составе a своим прямым кодом, а разряды $a_{v+1},\ a_{v+2},\dots,\ a_n$ — цифровые разряды порядка, то описанная операция дает $\omega=1$ при $|x|\geqslant 1$ и $\omega=0$ при $|x|<1$ (отсюда и назв. операции).

г) Проверка поразрядного тождества кода нулю определяется ф-лой

$$\omega=\bar{a}_1\wedge\bar{a}_2\wedge\dots\wedge\bar{a}_n.$$

Будучи применена к результату операции сравнения, описанной в части 1 статьи, эта операция дает $\omega=1$, если сравниваемые коды поразрядно тождественны, и $\omega=0$, если сравниваемые коды хотя бы в одном разряде отличаются друг от друга.

Проверка равенства числа нулю определяется ф-лой

$$\omega=(\bar{a}_1\wedge\bar{a}_2\wedge\dots\wedge\bar{a}_n)\vee(a_1\wedge a_2\wedge\dots\wedge a_n).$$

Если a представляет собой обратный код к.-л. числа x, то при $x=0$ в результате данной операции получается $\omega=1$, т. к. $[0]_{обр}=0{,}0000000000$ или $[0]_{обр}=1{,}1111111111$, а при $x\neq 0$ $\omega=0$. В нек-рых машинах данная операция применяется для проверки равенства нулю содержимого индексного регистра. Возможны Л. о., проверяющие наличие того или иного св-ва у пары или тройки кодов и т. п. *И. А. Кришкий.*

ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА (logical diagram; schéma logique; logisches Schema) — запись алгоритма или, в частном случае, программы ЦВМ в виде конечной строки т. н. термов, удовлетворяющая ряду условий. Термами наз. опре-

дел. комбинации, образованные из операторов логич. схемы (коротко — операторов) и т. н. знаков перехода. Введем для операторов (к-рые в общем случае зависят от параметров) следующие обозначения: D_k — действующий оператор, V_k — варьирующий оператор, Φ_k — оператор формирования, P_k — логич. оператор. Кроме того, назовем операторами $И_0$ (оператор начала) и $Я_k$ (оператор конца). В привед. символах k — натуральное (положительное) число.

Нелогическими назовем операторы типов $И_0$, D_k, V_k, Φ_k, $Я_k$, знаками перехода — описанные ниже символы, образующие две группы. К 1-й группе относятся левые знаки перехода: нижние вида $\lfloor_z$ и верхние вида $\lceil^z$. В этих знаках z может быть либо натур. числом, либо нулем, либо ф-лой вида $\beta_r=\theta(\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots, \varepsilon_s)$, где r — натур. число, $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \ldots, \varepsilon_s$ — параметры, θ — целочисл. ф-ция, способная принимать конечное число различных между собой значений. В частном случае ф-ция θ может быть константой. Напр., левые знаки перехода могут иметь вид

$$\lfloor_3,\ \lfloor_{\beta_1=\varepsilon_1+\varepsilon_2},\ \lfloor_{\beta_2=4},\ \lfloor_0,\ \lceil^4,\ \lceil^{\beta_1=\sin\pi\varepsilon_1},$$

и т. п. Ко 2-й группе относятся правые знаки перехода вида $\rfloor_z$. В них индекс z может быть либо натур. числом (положительным), либо ф-лой $\beta_r=b$, где r — натуральное, а b — целое число. Напр., правые знаки могут иметь вид $\rfloor_4$, $\rfloor_{\beta_r=7}$ и т. п. Знаки $\lfloor_0$ и $\lceil^0$ назовем знаками останова (считая останов частным случаем перехода).

Понятие терма вводится следующим образом: 1) упорядоченная пара нелогич. оператора и левого нижнего знака перехода ($И_0\lfloor_z$, $D_k\lfloor_z$, $V_k\lfloor_z$, $\Phi_k\lfloor_z$, $Я_k\lfloor_z$) является термом; 2) упорядоч. тройка логич. оператора и двух левых знаков перехода ($P_k\lfloor_{z_1}\lceil^{z_2}$, $P_k\lceil^{z_2}\lfloor_{z_1}$), из к-рых один верхний, а др. нижний, является термом; 3) правый знак перехода ($\rfloor_z$) является термом; 4) никаких больше термов нет.

Примем, что всякий терм вида $Я_k\lfloor_z$ имеет $z=0$ и для упрощения записи знак перехода $\lfloor_0$ будем опускать (вместо $Я_k\lfloor_0$ будем применять запись $Я_k$). Кроме того, будем считать, что в остальных термах знаки перехода имеют индексы z, отличные от нуля.

Л. с. наз. конечная строка термов, в к-рой: 1) на первом (самом левом) месте стоит терм вида $И_0\lfloor_z$; 2) нигде больше термы вида $И_0\lfloor_z$ не встречаются; 3) индексы двух любых правых знаков перехода между собой различны; 4) каждому левому знаку перехода с натур. индексом соответствует один и только один правый знак перехода с тем же индексом; 5) каждому левому знаку перехода с индексом вида $\beta_r=\theta(i_1, i_2, \ldots, i_s)$ соответствует множество правых знаков перехода с индексами вида $\beta_r=\theta_j$ ($j=1, 2, \ldots, n_r$), где θ_j — попарно различные значения ф-ции θ, причем n_r — количество различных между собой значений этой ф-ции.

Всякая Л. с. рассматривается вместе с некоторой совокупностью I параметров $i_1, i_2, \ldots, i_s$, двумя кортежами (конечными последовательностями) ячеек (X — входным кортежем и Y — выходным кортежем) и своей областью задания G, представляющей нек-рое множество состояний входного кортежа [состоянием кортежа наз. ф-ция вида $g=\Phi(\alpha)$, ставящая в соответствие ячейкам α кортежа допустимые для них состояния g].

Пусть I' — совокупность т. н. нач. значений параметров и Φ — нек-рое состояние кортежа X, принадлежащее G. Выполнением Л. с. наз. процесс, определяемый следующим алгоритмом.

Алгоритм выполнения:

1) Положить $g_0=\Phi$, $I_0=I'$, $\omega_0=0$, $l=0$, где l — номер шага. Найти в Л. с. терм $И_0\lfloor_z$. Перейти к следующему пункту.

2) Определить в соответствии с I_l значение ζ индекса z, присутствующего в рассматриваемом терме. Найти в Л. с. правый знак перехода с индексом ζ. Перейти к пункту 3.

3) Перейти в Л. с. к следующему (непосредственно справа) терму. Выполнять пункт 4.

4) Проверить, является ли рассматриваемый терм правым знаком перехода. Если да, перейти к пункту 3, если нет — к пункту 5.

5) Проверить, является ли рассматриваемый терм оператором конца. Если да — процесс окончен, если нет — перейти к пункту 6.

6) Определить значение Z оператора, входящего в рассматриваемый терм. Обозначим это значение соответственно через $И_0$, D, V, Φ или P в зависимости от того, каким оператором является это значение. Полагать

$$g_{l+1}=\begin{cases} D(g_l) \text{ при } Z=D,\\ g_l \text{ в остальных случаях;}\end{cases}$$

$$I_{l+1}=\begin{cases} V(I_l) \text{ при } Z=V,\\ \Phi(g_l, I_l) \text{ при } Z=\Phi,\\ I_l \text{ в остальных случаях;}\end{cases}$$

$$\omega_{l+1}=\begin{cases} P(g_{l+1}, I_{l+1}) \text{ при } Z=P,\\ \omega_l \text{ в остальных случаях.}\end{cases}$$

Увеличить значение l на 1. Перейти к пункту 7.

7) Если рассматриваемый терм содержит один левый знак перехода, то выполнять пункт 2, если же два левых знака перехода, то — пункт 8.

8) Если $\omega=1$, то за z принять индекс верхнего левого знака перехода, иначе — индекс нижнего левого знака перехода. Перейти к пункту 2.

Вообще говоря, выполнение Л. с. может либо окончиться после конечного числа шагов (напр., при $l=v$), либо безрезультатно оборваться благодаря невозможности осуществления одного из пунктов алгоритма выполнения, либо, наконец, продолжаться неограниченно. В первом случае состояние Φ входного кортежа наз. допустимым. К области задания Л. с. предъявляется требование, чтобы все принадлежащие ей состояния Φ входного кортежа были допустимыми. К выходному кортежу Y предъявляется требование, чтобы состояния его ячеек были определены после окончания выполнения Л. с., т. е. после получения g_v.

При выполнении Л. с. чередование состояний g_l ячеек памяти ($l=0, 1, 2, \ldots,$) не изменится, если поменять между собой местами левые знаки перехода, входящие в терм, содержащий логич. оператор.

Отсюда следует, что $\lfloor_{z_1}\lceil^{z_2}=\lceil^{z_2}\lfloor_{z_1}$. Последнее соотношение позволяет вместо любой из пар $\lfloor_{z_1}\lceil^{z_2}$ или $\lceil^{z_2}\lfloor_{z_1}$ употреблять более компактный символ $[^{z_2}_{z_1}$. Кроме того, при выполнении Л. с. чередование g_l также не изменится, если удалить правый знак перехода $\rfloor_z$, при условии, что отсутствуют левые знаки перехода, индексы к-рых равны или могут принимать значение z. Привед. соображения позволяют упростить запись Л. с. Для дальнейшего упрощения приняты соглашения, к-рые можно выразить ф-лами:

$$\lfloor_z\rfloor_z=\rfloor_z,\quad \lceil^z\rfloor_z=\rfloor_z,$$

откуда

$$[^{z_2}_{z_1}\rfloor_{z_1}=\lceil^{z_2}\rfloor_{z_1},\quad [^{z_2}_{z_1}\rfloor_{z_2}=\lfloor_{z_1}\rfloor_{z_2}.$$

Пример 1. Известный алгоритм Эвклида для нахождения по заданным целым положит. числам x и y их общего наибольшего делителя z (использующий вместо делений вычитания) может быть при развернутой записи операторов представлен в виде Л. с.

$$И_0\rfloor_3\ (x>y)\ \lceil^1(y>x)\ \lceil^2(z:=x)Я\rfloor_2\times$$
$$\times(y:=y-x)\ \lfloor_3\rfloor_1\ (x:=x-y)\ \lfloor_3. \quad (1)$$

При буквенном обозначении операторов тот же алгоритм запишется в виде:

$$И_0\rfloor_3\ P_1\ \lceil^1 P_2\ \lceil^2 D_1Я\rfloor_2\ D_2\ \lfloor_3\rfloor_1\ D_3\ \lfloor_3. \quad (2)$$

Существует 3 уровня записи Л. с.: 1) символический, при к-ром операторы, входящие в Л. с., изображены с помощью буквен. обозначений; 2) конкретный, при к-ром нелогич. операторы (кроме $Я_k$ и $И_0$) представлены в виде *комплексов*, а логические — в виде ф-л *алгебры логики*, и 3) смешанный, при к-ром отдельные операторы обозначены букв. символами, а другие развернуты в виде комплексов и ф-л алгебры логики. 1-я из привед. выше Л. с. записана на конкретном уровне, а 2-я — на символическом. Переход от одного уровня записи Л. с. к др. не представляет труда.

Л. с. могут быть рассматриваемы как нек-рый класс алгоритмов. Каждая Л. с.: 1) обладает свойством определенности, т. к. для всех Л. с. задан алгоритм выполнения; 2) каждая Л. с. обладает свойством массовости, т. к. может быть выполнена для любого состояния Φ (входящего в G) своего исходного кортежа X; 3) каждая Л. с. результативна, т. к. для каждого Φ из ее области задания G приводит к получению искомого результата (нек-рого состояния кортежа Y) после конечного числа шагов.

Конструирование новых Л. с. из уже имеющихся (см. *Алгоритмов конструирование*) заключается в следующем: 1) имеющиеся Л. с. записывают на конкретном уровне; 2) устраняют повторение в имеющихся Л. с. правых знаков перехода, изменяя индексы нек-рых из них и исправляя (если появляется в этом необходимость) индексы нек-рых левых знаков перехода. Этим устраняется т. н. «коллизия знаков перехода» в конструируемой Л. с.; 3) вводят единую систему букв, применяемых для обозначения величин и параметров в ф-лах комплексов и в ф-лах алгебры логики, присутствующих в имеющихся Л. с. При этом следят за тем, чтобы буквы, обозначающие результаты одних Л. с., и буквы, обозначающие исходные данные других Л. с., если это нужно, были одними и теми же. Этим, во-первых, устраняется т. н. «коллизия букв» в конструируемой Л. с. и, во-вторых, устанавливается связь между операторами, входящими в имеющиеся Л. с.; 4) связывают имеющиеся Л. с. в одну общую Л. с. (тем или иным способом, в зависимости от того, какой из приемов конструирования должен быть осуществлен) путем вычеркивания во всех Л. с., кроме одной, термов $И_0\lfloor_z$ и вписывания знаков перехода $\lfloor_z$ после определ. операторов $Я_k$. Получающиеся при этом термы $Я_k\lfloor_z$ (в к-рых $Я_k$ рассматривается уже как тождеств. оператор) путем несложных преобразований конструируемой Л. с. из нее исключаются. После этого от конкретного уровня записи Л. с. можно перейти к любому другому.

Пример 2. Общий наибольший делитель трех чисел можно получить как общий наибольший делитель третьего числа и общего наибольшего делителя первых двух. Поэтому Л. с. алгоритма получения общего наибольшего делителя t трех чисел u, v и w можно вычислить как произведение двух Л. с. алгоритма Эвклида. При этом обе исходные Л. с., из к-рых нужно произвести конструирование третьей Л. с., между собой одинаковы. Их запись на конкретном уровне дает (1). Изменяя в (1) индексы правых знаков перехода и (если нужно) левых знаков перехода, а также вводя явно левый знак перехода у оператора начала $И_0$, получим

$$И_0\lfloor_6\rfloor_6\ (x>y)\ \lceil^4(y>x)\ \lceil^5(z:=x)Я\rfloor_5\times$$
$$\times(y:=y-x)\ \lfloor_6\rfloor_4\ (x:=x-y)\ \lfloor_6. \quad (3)$$

Введем единую систему букв, обозначающих величины. Для этого в (1) заменим x, y и z соответственно на u, v и z, а в (3) x, y и z соответственно на z, w и t, после чего получим произведение Л. с. в виде:

$$И_0\rfloor_3\ (u>v)\ \lceil^1(v>u)\ \lceil^2(z:=x)Я\ \lfloor_6\rfloor_2\times$$
$$\times(v:=v-u)\ \lfloor_3\rfloor_1\ (u:=u-v)\ \lfloor_3\rfloor_6\ (z>w)\ \lceil^4\times$$
$$\times(w>z)\ \lceil^5(t:=z)Я\rfloor_5\ (w:=w-z)\ \lfloor_6\times$$
$$\times\rfloor_4\ (z:=z-w)\ \lfloor_6.$$

Из этой Л. с. исключаем оператор $Я$, входящий в терм $Я \lfloor_6$, и окончательно имеем:

$$H_0 \underset{5}{\lfloor} (u>v) \overset{1}{\lceil} (v>u) \overset{2}{\lceil} (z:=x) \lfloor_6 \times$$
$$\times \underset{2}{\lfloor} (v:=v-u) \underset{3\,1}{\lfloor\lfloor} (u:=u-v) \underset{3\,5}{\lfloor\lfloor} (z>w) \overset{4}{\lceil} \times$$
$$\times (w>z) \overset{5}{\lceil} (t:=z) Я \underset{5}{\lfloor} (w:=w-z) \lfloor_6 \times$$
$$\times \underset{4}{\lfloor} (z:=z-w) \lfloor_6. \qquad (4)$$

Благодаря легкости конструирования новых Л. с. из уже имеющихся Л. с. получили ряд важных практич. применений. Они используются как средство описания при алгоритмизации процессов с целью их автоматизации, а также в программировании (см. *Логическая схема программы*) как промежуточный этап между математич. описанием алгоритма и программой. Формальный характер определения Л. с. позволил разработать правила для их равносильных преобразований (см. *Равносильные преобразования логических схем*), которые могут быть полезны при программировании и необходимы при выполнении работ по улучшению (в том или ином отношении) алгоритмов. *И. А. Кринецкий.*

ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ПРОГРАММЫ (programme logical scheme; schéma logique de programme; logisches Programm-Schema) — форма записи алгоритма решения задачи (т. н. решающего алгоритма), промежуточная между его математич. описанием и программой для ЦВМ, применяемая при *операторном методе программирования*. Л. с. п. получается путем добавления в *логическую схему* решающего алгоритма операторов, обеспечивающих автоматич. выполнение этого алгоритма конкретной машиной, точнее, путем включения логич. схемы решающего алгоритма в схему *организации программы*.

Л. с. п. представляет собой конечную упорядоченную строку символов, обозначающих операторы, и знаков перехода, определяющих порядок выполнения операторов, если он отличен от порядка расположения операторов в Л. с. п.

Наиболее часто встречающиеся типы операторов в Л. с. п. имеют стандартные обозначения: $П$ — оператор переноса (из одних ячеек в др. или из одного ЗУ в др.), A — арифметич. оператор (ведущий счет по ф-лам), P — логич. оператор (вычисляющий значение к.-л. предиката, т. е. проверяющий выполнение к.-л. условия), $F(i)$ — оператор переадресации по параметру i (изменяющий значение параметра i и производящий соответствующее изменение адресов нек-рых команд), $O(i)$ — оператор восстановления по параметру i (возвращающий параметру i его нач. значение и видоизменяющий соответствующим образом команды, зависящие от i), $Ф$ — оператор формирования (формирующий др. операторы), E (m, n) — оператор обращения к группе операторов, первый из к-рых имеет номер m, а последний — номер n (передающий управление оператору с номером m и получающий управление после выполнения оператора с номером n), $Я$ — оператор останова (конца выполнения), H_0 — оператор начала (знак, указывающий первый оператор, с к-рого начинается выполнение Л. с. п. и отвечающей ей программы). Знаки перехода могут изображаться стрелками, начинающимися возле операторов, передающих управление, и кончающимися у операторов, получающих управление. При этом стрелка, ведущая от логич. оператора и означающая переход при выполнении проверяемого им условия, располагается над строкой, а означающая переход при невыполнении проверяемого им условия — под строкой. Вместо стрелок применяются левые знаки перехода — верхние $\overset{z}{\lceil}$ и нижние $\underset{z}{\lfloor}$ (пару верхнего и нижнего знаков перехода $\underset{z_1}{\lfloor}\overset{z_2}{\lceil}$ или $\overset{z_2}{\lceil}\underset{z_1}{\lfloor}$ объединяют в знак $\overset{z_2}{\underset{z_1}{[}}$), обозначающие начала стрелок (соответственно верхних и нижних), и правые знаки перехода $\underset{z}{\rfloor}$, обозначающие концы стрелок (как верхних, так и нижних). Напр., вместо

$$\ldots P_{13} A_{11} A_{12} \; P_{13} A_{14} A_{15} \ldots$$

может применяться запись

$$\ldots P_{13} \overset{1}{\lceil} A_{11} \underset{1}{\rfloor} A_{12} P_{13} \underset{2}{\lfloor} A_{14} \underset{2}{\rfloor} A_{15} \ldots,$$

Операторам, присутствующим в Л. с. п., в программе соответствуют группы команд, наз. *операторами программы*. Л. с. п. является: 1) информацией, на основании к-рой производится программирование, и 2) описанием программы, к-рое крайне необходимо, напр., при отладке программы на машине.

Пример. Предположим, что требуется с помощью ЦВМ решить методом итераций ур-ние $x=f(x)$, для к-рого известно грубое приближ. значение корня x_0. Решение можно осуществить последовательным вычислением величин $x_i=f(x_{i-1})$, $(i=1, 2, \ldots)$, причем искомым решением считается первое приближ. значение корня x_i, удовлетворяющее условию $|x_i-x_{i-1}|<\varepsilon$, где ε — заданное малое положит. число, характеризующее допустимую погрешность. Логич. схема решающего алгорифма может иметь вид

$$H_0 \overset{k}{\underset{k}{\Pi}} A_{k+1} P_{k+2} Я_l, \text{ т. е.}$$
$$H_0 \underset{1}{\lfloor} \Pi_k A_{k+1} P_{k+2} \underset{1}{\lfloor} Я_l, \qquad (1)$$

где Π_k — оператор переноса числа x в ячейку y, т. е. $y:=x$ (первоначально в ячейке x содержится x_0); A_{k+1} — арифметич. оператор, вычисляющий $x:=f(y)$; P_{k+2} — логич. оператор, проверяющий выполнение условия $|x-y|<\varepsilon$.

Предположим, что для программы избрана организация, к-рая может быть записана в виде схемы

$$H_0 V R \Pi_r E_{r+1}(R) P_{r+2} \underset{2}{\lfloor} W Я \underset{2}{\rfloor} Я', \qquad (2)$$

где V — ввод исходных данных и перевод их из десятичной системы счисления в двоичную; R — рабочий счет, т. е. выполнение решающего алгоритма; $\underline{\Pi}_r$ — перенос результата в запасную ячейку $\underline{x}$; $E_{r+1}(R)$ — обращение к R для повторного вычисления x; P_{r+2} — оператор, сравнивающий результаты первого и второго счетов, т. е. проверяющий выполнение условия $x=\underline{x}$; W — перевод результата

x из двоичной системы счисления в десятичную и выдача его из машины; $Я$ и $Я'$ — операторы останова.

Учитывая, что $V=\Pi_s A_{s+1}$, где Π_s — перенос исходных данных извне (напр., с перфокарт) в память машины, а A_{s+1} — оператор перевода из двоичной системы счисления в десятичную, и что $W=A_t \Pi_{t+1}$, где A_t — оператор перевода из двоичной системы счисления в десятичную, а Π_{t+1} — оператор переноса результата из памяти машины вовне (напр., на перфокарты), после включения логич. схемы (1) в схему организации программы (2) получаем Л.с. п.

$$H_0 \Pi_1 A_2 \underset{1}{\rfloor} \Pi_3 A_4 P_5 \underset{1}{\lfloor} \Pi_6 E_7(3; 5) P_8 \underset{2}{\lfloor} \times$$
$$\times A_9 \Pi_{11} Я_{11} \underset{2}{\rfloor} Я'_{12}. \qquad (3)$$

При составлении (3) было принято, что $k=3$, $s=1$, $t=9$, $l=11$, $r=6$. *Н. А. Кринецкий.*

ЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА ЦВМ (logical scheme; schéma logique; logisches Schema) — схема связи устройств и блоков машины, показывающая порядок работы и передачи информации между ними. Осн. устройства ЦВМ: 1) управления, 2) переработки информации, 3) хранения информации, 4) ввода и вывода информации.

УУ машины выполняет следующие осн. ф-ции: 1) выбирает команды из памяти в определ. порядке (обычно друг за другом из последоват. ячеек памяти, за исключением случаев выполнения команд передачи управления); 2) устанавливает адрес следующей команды; 3) расшифровывает команды; 4) модифицирует их (если это нужно); 5) вызывает *операнды*; 6) рассылает управляющие сигналы различным устройствам для выполнения команды; 7) принимает сигналы, поступающие от различных устройств. Устройства переработки информации по сигналам УУ принимают операнды, выполняют операции, определяемые кодами команд, отсылают результаты. Устройства хранения информации принимают, хранят и выдают информацию в соответствии с адресами, задаваемыми кодами команд. Устройства ввода и вывода производят перекодировку поступающей информации из внешнего кода во внутренний (напр., из кода, заданного строками пробивок на перфокартах, в последовательность электрич. импульсов) и обратно.

По способу работы ЦВМ делятся на параллельные и последовательные (см. *Параллельного действия машина*, *Последовательного действия машина*). В первых коды слов информации передаются одновременно всеми разрядами, а во вторых — поочередно разряд за разрядом. В набор операций, к-рые машина может выполнять по кодам команд, обычно входит небольшое число (неск. десятков) операций: арифметические, логические, управления, вспомогат. операции и операции ввода и вывода. Универсальность и гибкость машины определяются простотой этих операций и достаточно полным их набором, представляющим собой язык машины. Информация в машине разбивается на *слова*, к-рые могут быть числами и командами. Память машины (см. *Запоминающее устройство*) делится на ячейки. В них, в зависимости от конструкции машины, может стоять одно или неск. слов. Ячейки перенумерованы, и номер ячейки наз. *адресом*.

Обычно команды и числа имеют равную длину и занимают одну ячейку памяти (одно машинное слово в ячейке). В случае трехадресных команд каждая команда состоит из кода операции и трех адресов; в каждом адресе может иметься дополнит. признак, определяющий, является ли этот адрес адресом числа или адресом ячейки, в к-рой находится адрес числа (прямая или косв. адресация). Чтобы выполнить, напр., сложение двух чисел a и b и получить их сумму c в случае прямой адресации нужно 4 раза обратиться к памяти: 1) за самой командой; 2) за первым операндом; 3) за вторым операндом; 4) отослать результат. Если a, b и c адреса этих чисел соответственно, то команда будет иметь вид:

признаки адресации

↓		↓		↓		
+	0	a	0	b	0	c
код операции		1-я операция		2-я операция		результат

Если в команде используется хотя бы один косв. адрес (напр., d), то число обращений в память увеличится до пяти, т. к. придется

признак того, что d — адрес адреса

↓						
+	1	d		b		c

обратиться в ячейку d за адресом числа a.

Различные устройства машины (АУ, ввод—вывод, устройства хранения информации и т. д.) имеют различные скорости работы. Устройства ввода и вывода обычно работают гораздо медленнее, чем устройства хранения больших объемов информации (барабаны и магнитные ленты), а последние, в свою очередь, работают медленнее оперативных ЗУ, к-рые работают медленнее внутр. регистров АУ. При обычной Л. с. ЦВМ в каждый момент работает один из этих блоков, а все остальные простаивают, ожидая своей очереди.

В случае, если в задачах имеются цепочки вычислений, в к-рых для получения очередного результата применяются результаты, полученные ранее, то следующую команду нельзя выполнять до тех пор, пока не будет выполнена предыдущая команда. Кроме того, память может выдавать или принимать только по одному числу в каждый такт своей работы.

Оба эти обстоятельства увеличивают простои различных устройств. Способность машин работать только по линейным программам (т. е. команда за командой), в то время как в любой задаче многие операции можно было бы делать одновременно, приводит к тому, что значит. часть времени тратится на вспомогат. команды, организующие линейность, и на последоват. счет независимых ветвей задачи. Для ускорения вычислений применяют: подготовку следующей команды во время выполнения предыдущей; одноврем. работу различных устройств; введение спец. индексных регистров, позволяющих без потери времени производить модификацию команд; использование внутри блоков переработки информации запоминающих регистров, сокращающих количество отсылок в память про-

межуточных результатов, вызов подпрограмм с помощью введения новых кодов (микропрограммирование); введение регистров для запоминания мест прерывания программ и регистров для запоминания возрастающих и убывающих адресов; организацию многоступенчатой памяти и т. д.

Указанные приемы, являясь достаточно эффективными, не исключают, однако, таких простоев устройств, к-рые связаны со структурой задач — зацепленностью в них операций и линейностью работы программы. Кроме того, эти приемы ведут к усложнению машины, а значит, и к ее удорожанию. Поэтому перешли к построению машин по принципиально новой логич. схеме с одноврем. решением нескольких задач (с целью макс. использования оборудования). Осн. вопрос при этом — вопрос приоритетности различных задач в тех случаях, когда по ходу работы возникает необходимость в использовании одних и тех же устройств для разных задач. Для этого вводится спец. устройство управления высшего уровня (диспетчер), к-рое на основе таблиц, составл. в результате анализа задач и методов работы, определяет, какая программа должна работать в каждый данный момент. Так, в машине «Стретч» для хранения результатов анализа программы при работе в окрестности выполняемой команды имеется специально организованная память, в к-рую записываются подготовл. команды, операнды и др. сведения, обеспечивающие выполнение до семи команд одновременно. При такой Л. с. ЦВМ различные устройства машины должны обладать большой автономностью.

Примером осуществления принципа одноврем. работы различных устройств по независимым программам служит машина ГАММА-60 (Франция), работающая по системе «вопрос — ответ». Все устройства обладают способностью, получив команду, независимо обращаться в память за получением операндов, вырабатывать и отсылать результат. После этого они сообщают центральному устройству, распределяющему работу, что они свободны и просят следующую команду. Устройство управления, получив запросы на работу, устанавливает порядок работы и обмена информацией. Если различные части программы одновременно обращаются к одному и тому же устройству, то устанавливается очередь обращения в соответствии с заданной приоритетностью. Так, если к памяти обращаются два устройства, одно из которых быстрое — напр. АУ, а второе медленное — напр. магнитный барабан, то схема приоритета в первую очередь подключит барабан, т. к. иначе будет потеряно время, необходимое для целого оборота барабана.

Работу первых универс. машин можно сравнить с работой человека, умеющего делать все операции, необходимые для решения данной задачи, и делающего их по очереди. Работу большой совр. машины можно уподобить работе целого коллектива узких специалистов, к-рые работают все одновременно, сообщают, когда они освобождаются, и к-рых нужно загрузить наилучшим образом. При указанной Л. с. ЦВМ возрастают трудности программирования задач, к-рые будут решаться одновременно, и большое значение приобретают методы *автоматизации программирования* (см. также *Блок-схема*). *Н. Н. Рикко.*

ЛОГИЧЕСКАЯ ЦЕПЬ (схема) (logical circuit; circuit logique; logischer Kreis, logische Schaltung) — схема, моделирующая какие-либо функции *логики математической*. Л. ц. является осн. функцион. частью при построении цифровых вычислительных и управляющих устройств. Составной частью Л. ц. являются *логические элементы*. Чаще используются Л. ц., реализующие логич. ф-ции двузначной логики (см. *Алгебра логики*).

В теории Л. ц. решаются осн. задачи: анализ — по заданной Л. ц. определить реализуемую ею логич. ф-цию; задача преобразования — по заданной Л. ц. построить новую Л. ц., алгебраически эквивалентную заданной; задача синтеза — по заданной логич. ф-ции построить реализующую ее Л. ц. Методы решения этих задач, особенно задачи синтеза, зависят от используемых логич. элементов. Более детально разработаны методы синтеза Л. ц., в к-рых используются в качестве логич. элементов электромагнитные реле. *В. М. Остяну.*

ЛОГИЧЕСКАЯ ШКАЛА (logical scale; echelle logique; logische Skala) — особая компактная форма задания управляющей информации, применяемая при программировании задач для их решения на ЦВМ. Л. ш. задают последоват. значения m-ичной (т. е., принимающей только значения 0, 1, 2, ..., $m-1$) логич. ф-ции $p(n)$, где $n=1, 2, 3, \ldots, N$, в виде последовательности цифр m-ичной позиц. системы счисления (см. *Логика многозначная*). В каждом конкретном случае m-ичные цифры кодируются наборами цифр рабочей системы счисления, используемой в ЦВМ. Л. ш. используются обычно в тех случаях, когда длина каждого такого кода значительно меньше длины машинного слова (разрядности ячеек ЗУ). Чаще всего применяются 2 способа размещения Л. ш. в ЗУ: 1) Л. ш. располагают в одной или в нескольких последоват. ячейках, помещая в каждую из них столько значений ф-ций $p(n)$, сколько позволяет разрядность ячейки (т. н. горизонтальная Л. ш.). Этот способ наиболее удобен в том случае, когда вся Л. ш. занимает одну ячейку; 2) в N последоват. ячейках (в определ. разрядах) располагают по одному значению ф-ции $p(n)$, используя незанятые части ячеек для размещения др. информации (т. н. вертикальные Л. ш.). Принципиально задание Л. ш. не отличается от табличного способа задания функций и в ряде случаев имеет существ. преимущества перед др. способами задания управляющей информации, т. к. допускает весьма простую программную реализацию алгоритма анализа очередного значения заданной логич. ф-ции и перехода от одного значения к др. Переход к следующему значению при горизонтальной Л. ш. обычно осуществляется операцией сдвига и поэтому наз. сдвигом шкалы независимо от конкретной программной реализации и способа размещения Л. ш. в ЗУ. Применение Л. ш. дает возможность составлять весьма компактные программы сложных задач, заметно упрощает отладку программ, ибо, концентрируя управляющую информацию, облегчает контроль правильности исполнения желаемого алгоритма.

Метод Л. ш. особенно ценен в том случае, когда параметры машины и, в первую очередь, объем оперативной памяти требуют тщательного программирования. В ряде случаев Л. ш. входят в нач. данные задачи. Необходимость спец. кодирования Л. ш. несколько затрудняет подготовку последних, в связи с чем желательно употреблять вспомогат. программы формирования Л. ш.

Лит.: Китов А. И., Криницкий Н. А., Электронные цифровые машины и программирование, 2 изд., М., 1961, с. 342—45; Криницкий Н. А., Миронов Г. А., Фролов Г. Д., Программирование, М., 1963. *М. Р. Шура-Бура.*

ЛОГИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ (logical element; élément logique; logisches Element) — элемент, осуществляющий определ. логич. зависимость между входными и выходными сигналами. Л. э. обычно используются для построения логич. схем вычислит. машин, дискретных схем автоматич. контроля и управления. Для всех видов Л. э., независимо от их физич. природы, характерны дискретные значения входных и выходных сигналов. Обычно это — два уровня сигналов, к-рые условно принимаются один за 0 и другой за 1. Л. э. имеют один или несколько входов и один или два (обычно инверсных друг другу) выхода. Значения «нулей» и «единиц» выходных сигналов Л. э. определяются логич. ф-цией, к-рую выполняет Л. э., и значениями «нулей» и «единиц» входных сигналов, играющих роль независимых переменных.

Существуют элементарные логич. ф-ции (напр., штрих Шеффера «не и») или стрелка Пирса «ни ... ни», «не или» (см. *Алгебра логики*), из к-рых можно составить любую сложную логич. ф-цию.

Широко применяются системы Л. э., имеющих наборы Л. э., реализующих отдельно ф-ции «и», «или» и «не» (хотя для реализации любой логич. ф-ции достаточно было бы иметь наборы «и» и «не» или «или» и «не»). Применение Л. э., реализующих ф-ции «и», «или» и «не», делает систему Л. э. более гибкой (требуется меньше Л. э. для реализации большинства логич. схем), а составление схем — более удобным. Имеются также системы Л. э., где, кроме элементов, выполняющих осн. элементарные ф-ции «и» и «не» или «или» и «не», используются элементы, выполняющие ф-ции «запрет», «равнозначность», а иногда и отдельный элемент — «память».

Существует также тенденция создания универсальных Л. э., где на каждом элементе путем переключений может быть получено несколько логич. ф-ций в виде суммы произведений или произведения сумм значит. числа входных сигналов (15—30). Блочный принцип построения логич. схем предусматривает возможность включения на выходе и входе Л. э. системы нескольких подобных элементов, для чего Л. э. должны быть согласованы по уровням сигналов и должны обладать усилением по мощности. Состояние выхода элементов не должно влиять на его вход (направленность действия Л. э.).

Конструктивно Л. э. представляют собой одинаковые блоки или модули, компактно монтирующиеся на панелях. Соединения их с блоками питания и между собой осуществляются с помощью разъемов или паек.

Среди электрич. Л. э. в настоящее время наибольшее применение находят электромагнитные реле, магнитно-полупроводниковые и полупроводниковые Л. э.

Действие магнитно-полупроводниковых Л. э. основано на использовании двух устойчивых состояний магнитных сердечников с прямоугольной петлей гистерезиса, могущих также усиливать сигналы по мощности (см. *Магнитный усилитель*). Они разделяются на магнитно-вентильные (дроссельные и трансформаторные) и магнитно-транзисторные (феррит-транзисторные) Л. э.

Магнитно-полупроводниковые Л. э. с кремниевыми диодами могут работать в интервале темп-р от —60° до +120°С при колебаниях напряжения ±20%; они вибро- и удароустойчивы, влаго- и пыленепроницаемы.

Магнитно-вентильные Л. э. содержат обычно один сердечник и несколько вентилей, с помощью к-рых реализуются осн. элементарные логич. ф-ции. Кроме того, вентили позволяют так построить схемы Л. э., что намагничивание сердечников от импульсов напряжения или тока источника питания происходит только в одном направлении, а размагничивание (перемагничивание сердечников в др. направлении) — под управлением входных сигналов. Если комбинация входных сигналов такова, что размагничивания сердечника не происходит, то однонаправл. импульсы напряжения или тока источника питания не изменяют насыщ. состояния сердечника.

Дроссельные магнитно-вентильные Л. э. питаются импульсами напряжения, к-рые при перемагничивании сердечника приложены гл. обр. к его выходной обмотке. При насыщенном сердечнике напряжение на выходной обмотке близко к нулю. Т. о., выходная обмотка сердечника играет роль ключа между напряжением питания и нагрузкой. Ключ разомкнут при перемагничивании сердечника и замкнут, когда сердечник насыщен.

В дроссельных магнитно-вентильных Л. э. нагрузка может быть включена либо последовательно с источником напряжения питания U (рис. 1) и выходной обмоткой дросселя

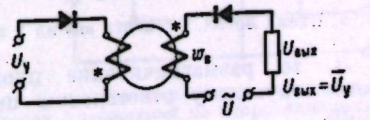


Рис. 1. Схема инвертора.

$w_в$, либо параллельно им (рис. 2). Тогда, если нулевые уровни напряжения U_y и $U_{вых}$ принять за 0, а уровни напряжений U_y и $U_{вых}$, необходимые для перемагничивания сердечников, принять за 1, то в схеме рис. 1

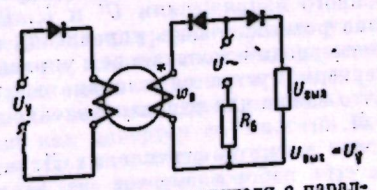


Рис. 2. Схема повторителя с параллельным включением нагрузки.

выполняется ф-ция инвертирования («не») $U_{вых}=U_y$, а в схеме рис. 2 — ф-ция повторения $U_{вых}=U_y$. Если в схеме рис. 2 нагрузку и балластное сопротивление поменять местами, то эта схема будет осуществлять ф-цию инвертирования («не»).

На рис. 3 показана схема повторителя входных сигналов, в к-рой сердечник размагничивается под действием вспомогат. напряжения U', синхронного с U, а управляющее

напряжение U_y имеет обратную полярность и препятствует размагничиванию. Эта схема в соединении с диодными группами позволяет реализовать логич. ф-цию «или» (рис. 4) и «и» (рис. 5).

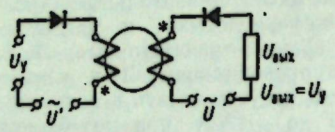


Рис. 3. Схема повторителя с последоват. включением нагрузки и вспомогат. напряжением в цепи управления.

Если хоть один из управляющих сигналов U_{y1}, U_{y2}, U_{y3} элемента «или» (рис. 4) равен 1 (по абс. величине он должен быть больше или равен U'), то вентиль цепи управления заперт и сердечник не размагничивается; тогда следующий импульс напряжения питания рабочей цепи будет приложен к нагрузке ($U_{вых}=1$).

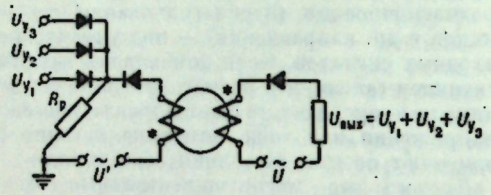


Рис. 4. Схема логич. элемента «или» на 3 входа.

Схема элемента «и» (рис. 5) построена т. о., что только при наличии всех управляющих сигналов (U_{y1} и U_{y_2} в схеме рис. 5) напряжение U' блокируется и сердечник не размагничивается. Если хоть один из сигналов входа

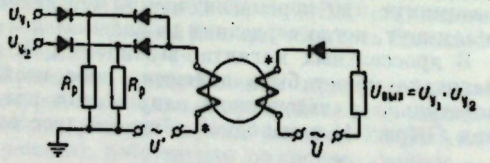


Рис. 5. Схема логич. элемента «и» на 2 входа.

равен 0, то размагничивание происходит по соответствующему ответвлению цепи управления.

Сопротивления R_p на рис. 4 и 5 ставятся для развязки выходных и входных цепей предыдущего и последующих Л. э.

Широко распространена система магнитно-вентильных Л. э., где в качестве сопротивления развязки используется вентиль, управляемый источником синусоид. напряжения, синхронного напряжениям U' и U. Вентиль развязки размыкает цепь управления в рабочие полупериоды и замыкает ее в управляющие полупериоды, устраняя влияние выхода на вход, что важно для однонаправленности действия Л. э.

Системы магнитно-вентильных Л. э. включают в себя набор элементов «и», «или», «не» или строятся на одном Л. э., выполняющем логич. ф-цию стрелка Пирса («$\overline{\text{или}}$», «не или», «ни ... ни...»). Этот элемент представляет собой инвертор (рис. 1) с диодами во входной и выходной цепях. При включении нескольких таких элементов на вход следующего такого же элемента выходной элемент реализует логич. ф-цию «$\overline{\text{или}}$» всех поданных на него входных сигналов. Блок-схемы реализации логич. ф-ций «или» и «и» такие же, как и в случае полупроводниковых Л. э. Однако в системе на магнитно-вентильных Л. э. с одним инвертором необходим еще фазосдвигающий повторитель (рис. 3), к-рый используется тогда, когда нужно согласовать фазы входа и выхода Л. э.

Трансформаторном магнитно-вентильном Л. э. нагрузка связана с источником питания трансформаторным способом. Если в такой схеме под действием входного сигнала сердечник был размагничен, то импульс тока источника питания перемагнитит его; при этом в выходной обмотке сердечника наведется эдс (выход будет равен 1). Если сигнал управления отсутствует, то сердечник остается в прежнем состоянии и импульс питания поддерживает его в этом состоянии; при этом эдс выходной обмотки близка к 0 (выход равен 0). Так действует повторитель на рис. 6,*а*. Логич. ф-ция «или» выполняется в этой системе путем присоединения диодной схемы «или»; логич. ф-цией «и» вследствие сложности осуществления пользуются редко. Логич. ф-ция «не» применяется в комбинации с повторителем в т. н. элементе «запрета», схема к-рого (рис. 6,*б*) отличается

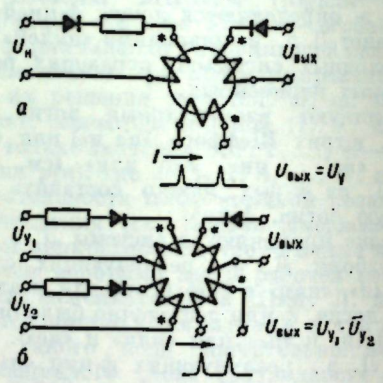


Рис. 6. Схемы трансформаторных логич. элементов: *а* — повторителя; *б* — элемента «запрет».

от схемы повторителя (рис. 6,*а*) только наличием обмотки запрета, намотанной навстречу осн. входной обмотке (что показано звездочками). Сигнал на этой обмотке блокирует действие осн. обмотки, поэтому, если $U_{y_2}=1$ и $U_{y_1}=1$, то $U_{вых}=0$. $U_{вых}=1$ только в том случае, если $U_{y_1}=1$, а $U_{y_2}=0$.

Феррит-транзисторные Л. э. работают на частотах от единиц до сотен *кгц* и поэтому имеют более высокое быстродействие, чем магнитно-вентильные схемы, работающие на пром. частотах. На рис. 7 дана схема феррит-транзисторного повторителя, лежащая в основе всех остальных Л. э. такого типа. В этой схеме, так же как и в трансформаторных магнитно-вентильных схемах, нагрузка связана с источником питания трансформаторным способом. Коэфф. усиления в схеме повышается за счет положит. обратной связи, введенной с помощью транзистора.

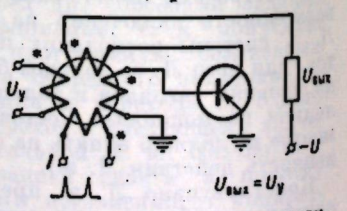


Рис. 7. Схема феррит-транзисторного повторителя.

И. П. Васильева.

Полупроводниковые Л. э. строятся на основе вентилей, транзисторов, туннельных диодов, $p-n-p-n$ переключателей и др. ПП приборов, имеющих два устойчивых состояния. Полупроводниковые Л. э. отличаются от др. видов Л. э. малым весом и габаритами, малым потреблением энергии и имеют сравнительно низкую стоимость. Нек-рые виды (напр., кремниевые приборы) могут работать в интервале темп-р от -60 до $+120$°С; допускают колебания напряжения питания $\pm 25\%$; вибро- и удароустойчивы, работают при высокой влажности. Наиболее распространены диодные (вентильные), диодно-транзисторные и транзисторные системы.

Л. э. на ПП диодах позволяют проще всего реализовать логич. ф-ции «и», «или». При отсутствии сигналов на входах *a*, *b*, *c* элемента «и» (отрицат. потенциал относительно земли принят за 1) вентили открыты и сигнал на выходе *II* равен 0 (рис. 8). Только тогда, когда на всех входах сигнал равен 1, вентили закрыты и на выходе сигнал также будет равен 1. В данной схеме разрыв во входной цепи равносилен подаче единичного сигнала. При подаче сигнала 1 на любой из входов *a*, *b*, *c* элемента «или» (рис. 9) диод открывается и на выходе появляется сигнал 1. В диодных Л. э. напряжение сигнала падает при переходе от одного элемента к др. и его необходимо усиливать. Для этой цели, а также для получения инвертирования (логич. ф-ция «не», к-рая не может быть получена непосредственно на диодах) могут использоваться транзисторы, магнитные усилители, электронные и др. усилители. В диодно-транзисторных Л. э. применяемые для этой цели транзисторы работают в режиме переключения по схеме с общим эмиттером. При отсутствии сигнала на входе (базе) транзистора последний закрыт, и на выходе имеется сигнал 1. При подаче достаточного по величине сигнала, к-рый принимается за 1, транзистор полностью открывается (заходит в область насыщения), и на выходе появляется сигнал 0. В диодно-транзисторных схемах применяется усилитель-инвертор, на вход к-рого подключается соответствующая вентильная схема. Усилитель-инвертор (рис. 10) имеет прямой *II* и инверсный *I* выходы. При наличии сигнала на входе транзистор T_1 открыт, транзистор T_2 закрыт. Т. о., каждый диодно-транзисторный элемент может выполнять две логические ф-ции либо «и», «$\overline{\text{и}}$», либо «или», «$\overline{\text{или}}$».

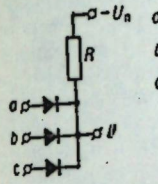


Рис. 8.

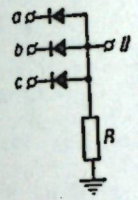


Рис. 9.

Рис. 8. Вентильная схема «и»; *a*, *b*, *c*—входы; *II* — выход; $U_п$ — напряжение источника питания.

Рис. 9. Вентильная (диодная) схема «или».

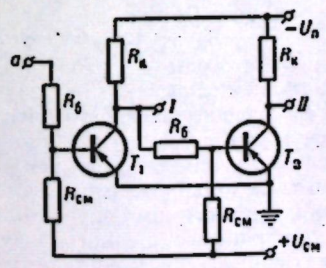


Рис. 10. Транзисторный усилитель: *a* — вход; *I* — инверсный выход; *II*— прямой выход; $U_{см}$— напряжение источника смещения; $R_{см}$— сопротивление в цепи смещения; $R_б$—сопротивление базы; $R_к$— сопротивление коллектора.

Транзисторные Л. э. строятся полностью на транзисторах. На рис. 11,*а* показана последовательная, а на рис. 11,*б* — параллельная схемы для осуществления логич. ф-ции «и». Только тогда, когда на всех входах имеются сигналы, равные 1, транзисторы T_1, T_2, T_3 открыты, а T_4 закрыт и на выходе — 1.

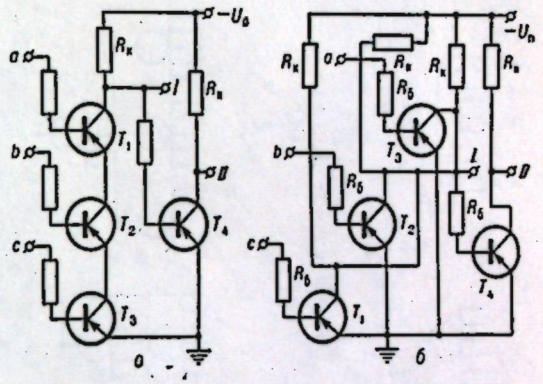


Рис. 11. Схема логич. элемента «и» на транзисторах: *а* — последовательная; *б* — параллельная.

Схема «или» на транзисторах строится с развязкой на сопротивлениях (рис. 12). Здесь ф-цию развязывающего вентиля частично выполняет транзистор. В этой схеме допустимое число входов меньше (6—8), чем в схеме с развязкой на вентилях (рис. 9). При подаче на

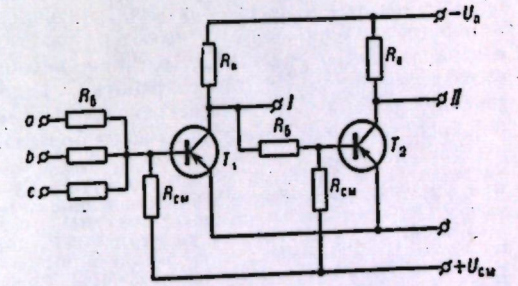


Рис. 12. Схема логич. элемента «или» на транзисторах с развязкой на сопротивлениях.

вход (рис. 12) достаточного по величине сигнала транзистор T_1 открывается, а T_2 закрывается; на первом выходе появляется сигнал 0, на втором 1. Т. к. с выхода первого транзистора снимается инвертиров. сигнал, то нет необходимости иметь отдельный элемент «не».

Системы Л.э. на транзисторах могут строиться также на основе одного стандартного элемента. Для этого чаще всего применяют элемент «или — не» («ни... ни») (рис. 13,*а*). Элемент работает как инвертор со многими входами. При отсутствии сигналов на входах транзистор закрыт и на выходе имеется сигнал 1. При подаче хотя бы одного сигнала транзистор открывается и на выходе появляется сигнал 0. На элементе «или — не» просто осуществляются схемы «и» (рис. 13,*б*), «или» (рис. 13,*в*) и простейший многотактный элемент «память» (рис.13,*г*).

На транзисторах и диодах строятся также системы, в основе к-рых лежит многофункцион. элемент, реализующий канонич. ур-ния в виде сумм произведений или произведений сумм.

Если в вышеопис. элементах за 1 принять нулевой потенциал, а за 0 — отрицат. потенциал, то они будут выполнять др. логич.

ф-ции. Схема «или» превратится в схему «и», схема «ни ... ни»—в штрих Шеффера. Приведенные выше системы построены на транзисторах типа $p—n—p$, однако все сказанное остается в силе и для $n—p—n$ транзисторов (если поменять полярности источников на противоположные).

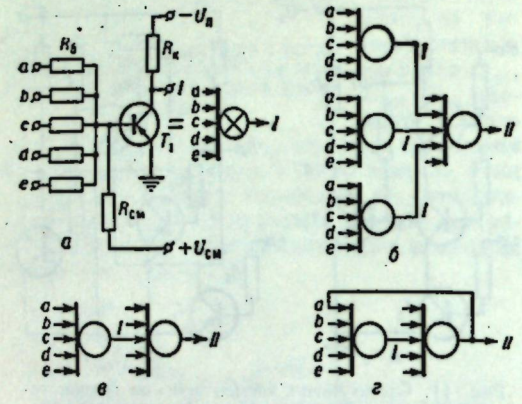


Рис. 13. *а* — Схема логич. элемента «ни...ни» и его условное изображение; *б* — схема логич. элемента «и» на 3 входа, построенная на элементах «ни...ни»; *в*—схема логич. элемента «или» на 5 входов, построенная на элементах «ни...ни»; *г*—схема логич. элемента «память», построенная на элементах «ни...ни».

В последнее время большое внимание уделяется построению Л. э. на туннельных диодах и $p—n—p—n$ переключателях, на вольтамперных хар-ках к-рых имеются участки с отрицат. сопротивлением. Но такие системы находятся еще в стадии разработки. Построение систем на точечных транзисторах не нашло широкого применения из-за их большой нестабильности.

Б. П. Петрухин.

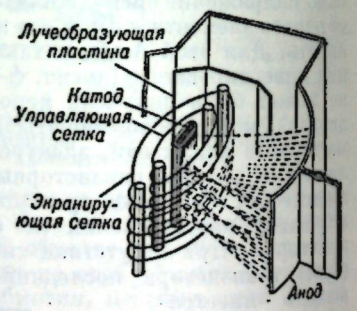
Лит.: Васильева Н. П., Гашковец И. С., Логические элементы в промышленной автоматике, М.— Л., 1962; «Siemens Zeitschrift», 1959, okt., H. 10; Götz E., Heinzerling H.-Ch., Lott H. G., Transistoren in Steuerungen mit logischen Schaltelementen, «Elektrotechn. Z.», 1959, Bd 80, H. 15, S. 487—92; Жоке Ш., Логические элементы и их применение в качестве статических реле в многотактных схемах, в кн.: Тр. 1-го Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, т. 4, М., 1961.

ЛОГИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ АНАЛОГОВОЙ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ (analogue computer logical element; élément logique de calculateur analogique; logisches Element der Analogie-Rechenmaschine) — элемент, используемый для выполнения операций выбора и переключения переменных или блоков в схеме электрич. моделирования. Осн. логич. операции: операция непрерывного выбора макс. или миним. значений из неск. переменных и операция переключения, осуществляемая по результату сравнения двух переменных (условный переход). Первая производится с помощью диодных схем, подобных схемам совпадения в ЦВМ, и используется, напр., для коммутации на общий выход схемы моделирования одного из выходных напряжений параллельно работающих цепей. Вторая выполняется с помощью спец. блоков—блоков сигнатур. В состав этих блоков входят схема сравнения величин и исполнит. элемент (реле, электронные ключи), срабатывающий при достижении входной величиной установленного для нее значения и подающий команды на выполнение операций переключения в заданных местах схемы электрич. моделирования.

Л. э. АВМ наз. также переключающие блоки, входящие в состав комплексной логич. схемы управления поиском заданного решения в АВМ, работающих в режиме периодизации решения и предназнач. как для лабораторных исследований, так и для управления технологич. процессами. *И. М. Витенберг.*

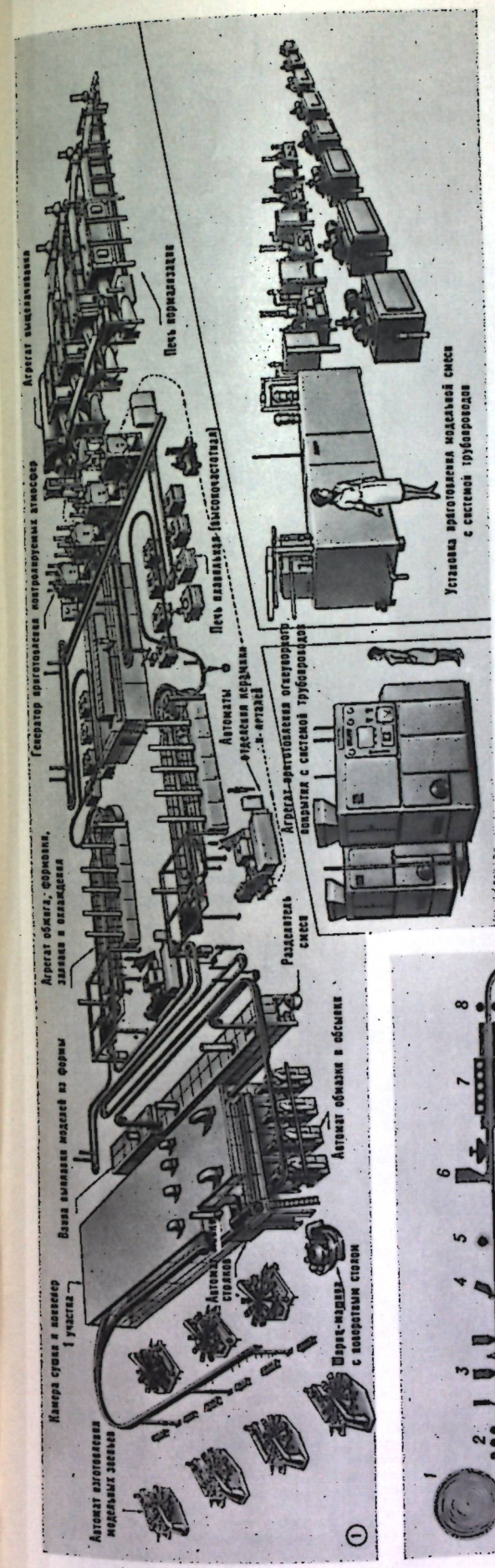
ЛОКАЛЬНЫЕ УРОВНИ (local levels; niveaux locaux; lokale Pegel) — см. *Зонная теория*.

ЛУЧЕВОЙ ТЕТРОД (electron beam tetrode; tétrode à faisceau electronique; Strahltetrode) — электронная лампа, в которой за счет специальной конструкции электродов осуществляется подавление динатронного эффекта (см. *Вторичная эмиссия*). С этой целью в пространстве вторая сетка — анод создается минимум потенциала. Последний не препятствует прохождению первичных электронов, обладающих большими скоростями, но тормозит вторичные электроны, летящие от анода с малыми скоростями. Простейшим способом подавления динатронного эффекта является увеличение расстояния между второй сеткой и анодом, что приводит к увеличению плотности объемного заряда в пространстве вторая сетка —анод и к соответствующему снижению минимума потенциала. В Л. т. для получения такого же эффекта при не слишком большом увеличении междуэлектродного расстояния прибегают к увеличению плотности тока за счет фокусировки электронов в узкие «лучи». Для этого в Л. т. между второй сеткой и анодом помещены спец. электроды (рис.), т. н. лучеобразующие пластины, соединенные внутри лампы с катодом и т. о. имеющие нулевой потенциал. Лучеобразующие пластины фокусируют поток электронов в поперечном направлении. Обе сетки Л. т. делают с одинаковым шагом и располагают так, что витки их находятся друг против друга. Такое совмещение витков сеток позволяет сфокусировать электронный поток вдоль оси лампы, а вместе с лучеобразующими пластинами осуществляется фокусировка электронного потока в двух взаимно-перпендикулярных направлениях. Двойная фокусировка увеличивает плотность тока и способствует понижению потенциала вблизи анода. Осуществить совмещение витков первой и второй сеток в случае мелкоструктурных навитых конструкций не представляется возможным. Поэтому Л. т., имеющие, как правило, редкие сетки, являются мощными лампами с проходной емкостью порядка 0,1—1 *пф*.

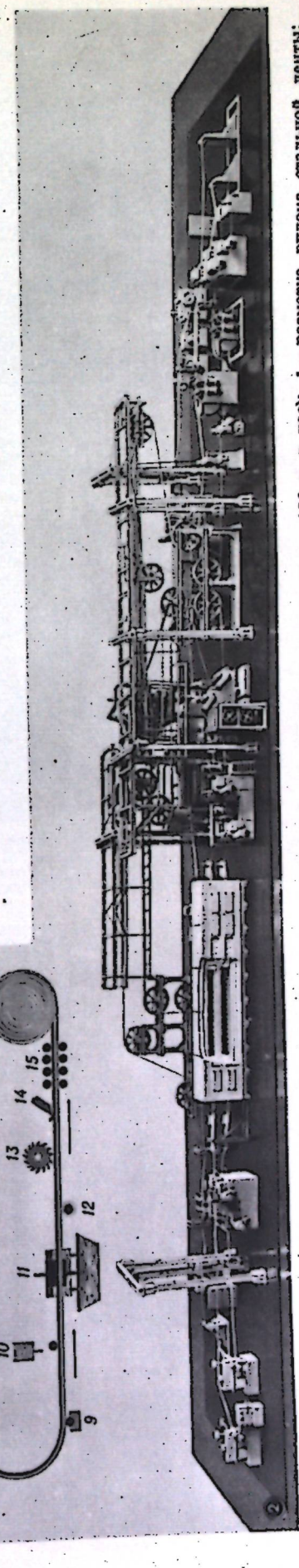


Схематическое устройство лучевого тетрода 6П3С.

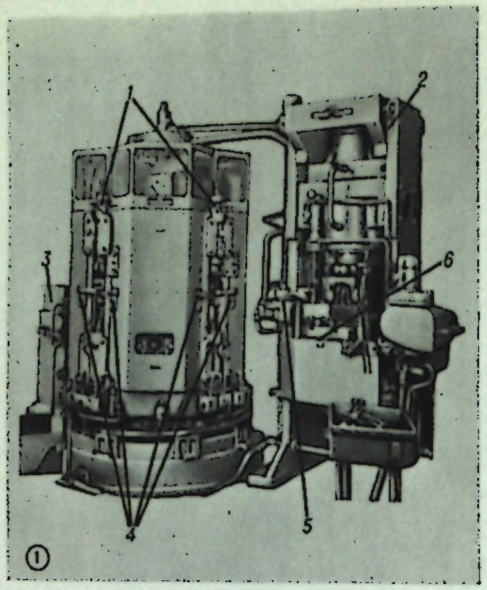
Анодные хар-ки Л. т. не имеют падающих участков, характерных для обычных тетродов, за исключением областей малых катодных токов, где из-за малой плотности тока проявляется динатронный эффект. Достоинством Л. т. является небольшая величина тока второй сетки — 7—10% от анодного тока (в обыч-



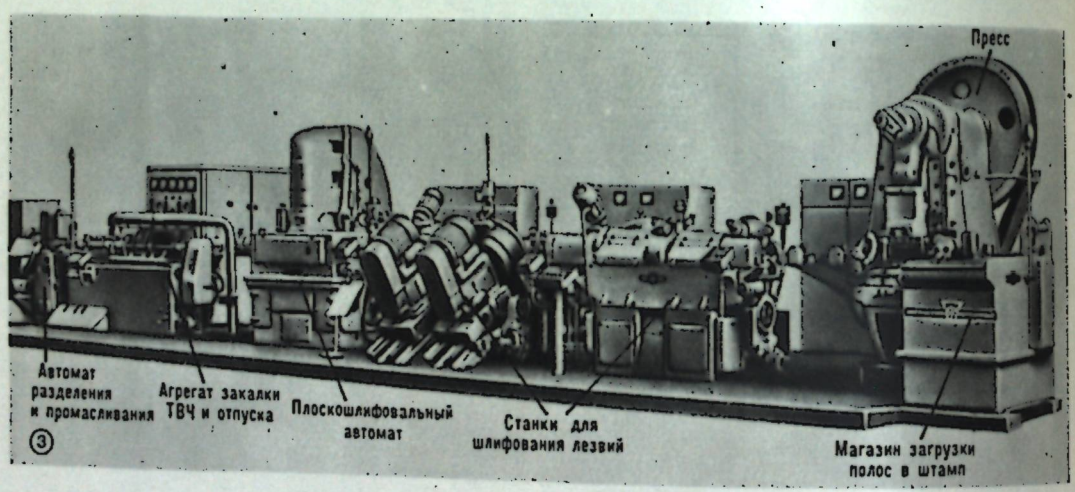
1. Типовая автоматическая линия литья по выплавляемым моделям. Производительность 2500 *т* в год с размером деталей до 1,5 *кг*. Спроектирована и изготовлена Научно-исследовательским и технологическим автомобильной промышленности совместно с Горьковским автомобильным заводом.



2. Автоматическая линия для производства высокоустойчивой триметаллической ленты: *1* — размотка рулона стальной ленты; *2* — правка; *3* — обрезка и стыковая сварка; *4* — строжка шва; *5* — зачистка и обезжиривание; *6* — засыпка порошка; *7* — спекание порошка; *8* — калибровка двухслойной ленты; *9* — нанесение защитной пленки жидкого стекла; *10* — фиксование; *11* — вакуумная пропитка бабитом; *12* — зачистка защитного слоя; *13* — фрезерование; *14* — шевингование; *15* — правка и калибровка; *16* — сматывание трехслойной ленты. Линия сконструирована и изготовлена НИПТАВТОПРОМОМ. Технологии производства разработана с участием заводов Горьковского автомобильного, Московского автомобильного им. Лихачева и Заволжского моторного.









Автоматические установки, разработанные Научно-исследовательским ин-том технологии тракторного и сельскохозяйственного машиностроения. 1 — Роторная автоматическая линия для электровысадки и штамповки клапанов двигателей, состоящая из двух синхронно работающих агрегатов *1* и *2*: *1* —роторный 4-позиционный автомат электровысадки головки клапана с большим набором металла (до 15 *d*); *2* — пресс с 3-позиционным поворотным столом *6* для штамповки тарелки клапана; *3* — бункер; *4*— механические руки автомата; *5* — механическая рука пресса. 2 — Средства автоматического учета движения деталей и выработки. В систему автоматизации входят: пульт управления, пульт счетчиков, система сигнализации, логический блок, датчики; счет ведется сменный и месячный. 3 — Комплексная автоматическая линия для производства вкладышей к режущим аппаратам сельскохозяйственных уборочных машин. 4— Автомат для непрерывной одновременной газовой цементации и закалки мелких деталей. Печь нагревается посредством трех смесительных газовых горелок.

ных тетродах — 25—30%). Типичными Л. т., используемыми в радиоэлектронной аппаратуре, являются 6П6С, 6П3С, 6П1П, 6П13С, ГУ-29, ГУ-32. Наибольшее распространение получили Л. т. 6П3С и 6П1П, имеющие долговечные (срок службы 5000 час.) модификации — 6П3С-Е и 6П1П-Е. Перечисленные Л. т. чаще применяют в оконечных каскадах усилителей НЧ, хотя отдельные типы Л. т. используются в генераторах на частотах до 500 *Мгц*.

Широкое распространение получили т. н. широкополосные тетроды, в к-рых отсутствует совмещение витков сеток, однако имеются лучеобразующие пластины. Типичными широкополосными тетродами являются 6П14П, 6Э5П.

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960.

А. К. Хрулев.

ЛЮМИНЕСЦЕНЦИЯ УЛЬТРАЗВУКОВАЯ (ultrasonic luminiscence; luminiscence ultrasonique; Ultraschall-Lumineszenz) — свечение, возникающее в жидкости в процессе *кавитации ультразвуковой*. Л. у., вероятно, обусловлена большим ростом темп-ры внутри пузырька вследствие его адиабатич. сжатия. Л. у. сама по себе довольно слаба и для ее наблюдения глазом требуется сильное затемнение помещения. Яркость Л. у. может быть усилена в сотни раз добавлением к жидкости нек-рых люминофоров, напр. люминола. Практич. применения Л. у. пока (1962) не получила.

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., М., 1956.

Л. Д. Розенберг.

ЛЯПУНОВА МЕТОД, прямой метод (Liapunov's method; méthode de Liapunov; Ljapunow-Methode),— метод изучения *устойчивости* движения, заключающийся в отыскании нек-рых ф-ций V переменных t, x_1, ..., x_n, полные производные к-рых по времени, в силу ур-ний *возмущенного движения*

$$\frac{dx_k}{dt}=X_k(t, x_1, \ldots, x_n), \qquad (1)$$

обладают нек-рыми специфич. свойствами, позволяющими судить об устойчивости движения. Вещественные ф-ции V вещественных переменных t, x_1,..., x_n подчиняются условиям:

$$t\geqslant t_0 \text{ и } \sum_{k=1}^{n} x_k^2\leqslant L, \qquad (2)$$

где t_0 и L постоянные, причем всегда $L\neq 0$.

Ф-цию V, заданную в области, определяемой неравенствами (2), наз. знакопостоянной (положительной или отрицательной), если она принимает, кроме нулевых значений, значения одного знака. Знакопостоянную ф-цию V, не зависящую от времени t и принимающую нулевое значение только в начале координат, наз. знакоопределенной и, желая обратить внимание на ее знак, — определенно-положительной или определенно-отрицательной. Ф-цию V, явно зависящую от t, наз. знакоопределенной, если для нее можно найти такую не зависящую от t определенно-положит. ф-цию W, чтобы одно из двух выражений $V-W$ или $-V-W$ представляло функцию положительную. Функция V допускает бесконечно малый высший предел, если $V\to 0$ при $\sum_{k=1}^{n} x_k^2\to 0$ равномерно при $t\geqslant t_0$.

Если постоянная L достаточно мала, то в пространстве переменных x_1, ..., x_n, в области, ограниченной вторым из неравенств (2), ур-ния типа $V=C$, где C — постоянная, представляют однопараметрич. семейство замкнутых непрерывных поверхностей, подвижное, если V зависит явно от t. При уменьшении параметра C поверхности стягиваются к началу координат. Если ф-ция V знакоопределенная и не зависит от t, то поверхности $V=C$ пересекают все непрерывные пути, идущие из начала координат в бесконечность. В случае, когда L достаточно велико, поверхности $V=C$ могут быть и незамкнутыми.

Одновременно с ф-цией V рассматривают ее полную производную по времени t, взятую в силу дифференц. ур-ний возмущ. движения:

$$\dot V=\frac{dV}{dt}=\frac{\partial V}{\partial t}+\frac{\partial V}{\partial x_1}X_1+\ldots+\frac{\partial V}{\partial x_n}X_n.$$

Для решения вопроса об устойчивости *невозмущенного движения* А. М. Ляпунов доказал следующие фундаментальные теоремы: 1) Если дифференц. ур-ния возмущенного движения таковы, что возможно найти знакоопредел. ф-цию V, производная к-рой $\dot V$ в силу этих ур-ний была бы или знакопост. ф-цией противоположного с V знака или тождественно равной нулю, то невозмущенное движение устойчиво. 2) Если знакоопредел. ф-ция V допускает бесконечно малый высший предел, а ее производная $\dot V$ представляет знакоопредел. ф-цию противоположного знака, то всякое возмущенное движение, достаточно близкое к невозмущенному, будет приближаться к нему асимптотически. Эта теорема утверждает, что

$$\lim_{t\to\infty} x_k=0 \quad (k=1, \ldots, n).$$

Две теоремы Ляпунова о неустойчивости могут быть получены из теоремы Н. Г. Четаева. 3) Если дифференц. ур-ния возмущенного движения таковы, что возможно найти ф-цию V, ограниченную в области $V>0$, существующую при всякой $t\geqslant t_0$ и для сколь угодно малых по абс. величине значений переменных x_k, производная к-рой $\dot V$ в силу этих ур-ний была бы определенно-положительной в области $V>0$, то возмущенное движение неустойчиво. Изложенные теоремы составляют основное теоретич. содержание Л. м. Ф-цию $V(t, x_1, \ldots, x_n)$, удовлетворяющую условиям этих теорем, наз. ф-цией Ляпунова.

Л. м.— эффективный метод исследования устойчивости нелинейных систем, особенно, когда интересуются устойчивостью в большом, т. е. при любых конечных возмущениях. При этом возможность применения метода первого приближения исключена. Решение задачи об устойчивости Л. м. не является однозначным, т. к. ф-ций Ляпунова может быть построено бесконечное множество. Следовательно, условия устойчивости, к к-рым приводит Л. м., являются достаточными, но не необходимыми, поскольку их нарушение еще не будет означать неустойчивости системы.

Лит.: Ляпунов А. М., Общая задача об устойчивости движения, М.— Л., 1950; Четаев Н. Г., Устойчивость движения, 2 изд., М., 1955; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Зубов В. И., Методы А. М. Ляпунова и их применение, Л., 1957.

В. И. Попов.

М

МАГИСТРАЛЬ АДРЕСНАЯ (address main line; ligne principale d'adresses; Adressen-Magistrale) — группа элементов, передающих коды адресов команд, *операндов* и результатов операций между различными устройствами ЦВМ. Эти элементы наз. кодовыми шинами адреса и представляют собой экранированные провода, спец. кабели и т. д. В машинах с естеств. порядком следования команд магистраль адресов команд связывает счетчик команд (программный датчик) с дешифратором адреса команды, а магистраль адресов операндов и результатов операций — регистр команд с адресным регистром ЗУ. В машинах с принудит. выборкой команд М. а. команд связана с регистром команд. Как правило, М. а. передает информацию в одном направлении, т. е. является односторонней. *И. А. Данильченко.*

МАГИСТРАЛЬ КОМАНДНАЯ (instruction main line; ligne principale d'instructions; Kommando-Magistrale) — группа элементов, обеспечивающих передачу кодов команд между различными устройствами ЦВМ. Эти элементы (провода, кабели и т. п.) наз. кодовыми шинами команд. В машинах последоват. действия М. к. содержит всего одну кодовую шину, т. к. все разряды кода команды в этом случае передаются последовательно во времени один за другим. В машинах параллельного действия, где весь код команды передается одновременно, М. к. содержит отдельную кодовую шину для каждого разряда кода команды. Наиболее часто М. к. связывает в ЦВМ оперативные ЗУ с УУ. Передача команд в АУ для модификации производится по *магистрали числовой*.

И. А. Данильченко.

МАГИСТРАЛЬ СИГНАЛЬНАЯ (signal main line; ligne principale de signaux; Signal-Magistrale) — группа элементов (провода, кабели и т. п.), передающих управляющие сигналы между отдельными устройствами или блоками вычислит. машины. Несущие элементы, входящие в М. с., наз. сигнальными шинами. Каждый сигнал, как правило, транспортируется по своей сигнальной шине. В отличие от др. магистралей машины, М. с. неоднородна и содержит, в зависимости от типа передаваемого сигнала, импульсные и уровневые шины (обычные экранир. провода). Для импульсных шин, передающих короткие сигналы ВЧ, наиболее часто используют спец. кабели. Различают также токовые и потенциальные шины М. с. Вид шины определяется элементами, с к-рыми она непосредственно связывается. Каждая шина М. с. односторонняя, т. е. передает сигнал только в одном направлении. *И. А. Данильченко.*

МАГИСТРАЛЬ ЧИСЛОВАЯ (digital main line; ligne principale numérique; Ziffern-Magistrale) — группа элементов для передачи кодов чисел между устройствами вычислительной машины. Несущие элементы М. ч. (провода, кабели и т. д.) часто наз. кодовыми шинами чисел. В машинах параллельного действия каждому разряду кода числа соответствует свой несущий элемент. Количество таких элементов, содержащихся в М. ч., равно при этом количеству разрядов, отводимых под код числа. При последоват. передаче чисел М. ч. может содержать лишь один проводящий элемент, поскольку передача отдельных разрядов кода числа в данном случае разделена во времени. Одноадресные машины содержат одну М. ч., в многоадресных часто используются несколько М. ч.; макс. количество их при этом равно адресности машины. Так трехадресная машина «Стрела» содержит три М. ч., каждая из к-рых соответствует определ. адресу команды. При наличии в машине одной М. ч. последняя является двусторонней, т. е. позволяет передавать информацию в прямом и обратном направлении. *И. А. Данильченко.*

МАГНЕСИН (magnesyn; transmetteur magnétique; Magnesin) —бесконтактный датчик углового положения вала. Применяется вместо

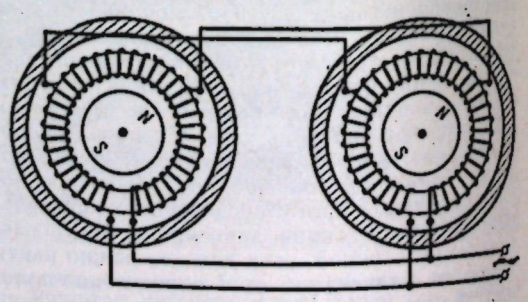


Рис. 1. Схема соединения магнесина-датчика и магнесина-указателя.

сельсина с целью уменьшения нагрузочного момента, создаваемого датчиком-сельсином на задающем валу. М. состоит из статора и ротора (рис. 1). Статор — пермаллоевый тороид (набранный из отдельных листов) с равномерно распределенной на нем обмоткой, к-рая имеет три отвода через каждые 120°. Ротор *NS* — цилиндрич. пост. магнит, вращающийся в центре тороида на подшипниках. Обмотка статора питается от источника перем. тока повыш. частоты (400—500 *гц*). При напряжении источника 28 *в* ток, потребляемый в обмотке статора, составляет примерно 50—100 *ма* (в зависимости от величины М.).

Наличие пост. магнита ведет к возникновению в каждой половине тороида статора напряженности поля $H_{=}$, к-рая одинакова в обеих его половинах. При питании обмотки статора переменным током в сердечнике тороида возникает переменная напряженность поля $H_{\sim}$.

Полная напряженность поля в одной половине сердечника

$$H_1 = H_{\sim} + H_{=}, \qquad (1)$$

а в другой половине

$$H_2 = H_{\sim} - H_{=}. \qquad (2)$$

Вследствие этого возникает магнитная индукция, к-рая состоит из двух частей: индукции $B_{\sim}$, общей для обеих половин тороида и изменяющейся с частотой перем. тока, и дополнит. индукции подмагничивания B_x, возникающей из-за наличия $H_{=}$. Т. о., индукция в одной половине тороида

$$B_1 = B_{\sim} + B_x. \qquad (3)$$

Индукция во второй половине обмотки

$$B_2 = B_{\sim} - B_x \qquad (4)$$

или

$$B_{\sim} = \frac{B_1 + B_2}{2} \qquad (5)$$

$$B_x = \frac{B_1 - B_2}{2}. \qquad (6)$$

При равномерно распределенной обмотке на тороиде напряжение, приложенное к обмотке, равно

$$U_{\sim} = e_1 + e_2,$$

где e_1 и e_2 — напряжения в 1-й и во 2-й половинах обмотки статора.

Напряжение в одной половине обмотки:

$$e_1 = -k\frac{dH_1}{dt} = -k\left(\frac{dB_{\sim}}{dt} + \frac{dB_x}{dt}\right) = \frac{U_{\sim}}{2} - e_x,$$

где e_x — напряжение, возникающее при вращении магнита *NS* (от индукции B_x). Оно имеет двойную частоту по сравнению с напряжением источника питания. В следящей системе М. эквивалентен сельсину, но в М. по закону синуса (в зависимости от угла) изменяется напряжение 2-й гармоники, а в сельсине — напряжение осн. частоты.

Когда соединены два идентичных М., то при всяком повороте оси М.-датчика ось М.-указателя поворачивается на тот же угол, т. к. если их роторы занимают не одинаковое положение, то по обмоткам и соединит. проводам текут уравнит. токи, вызывающие устанавливающий вращающий момент. Вращение ротора М.-указателя прекращается, когда он устанавливается по равнодействующей магнитного потока статора. При этом уравнительные токи уменьшаются до нуля.

М. совместно с сельсином *СС* (рис. 2) применяется в т. н. магнесинно-сельсинной следящей системе. Здесь на задающем валу имеется М., а на приемном валу — сельсин. М. питает

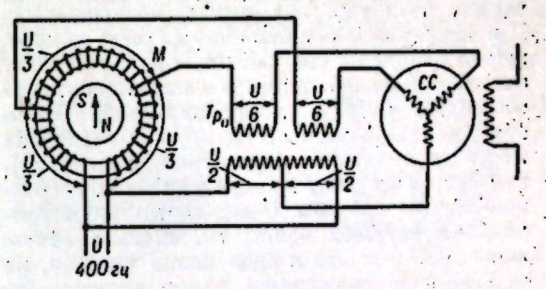


Рис. 2. Схема соединения магнесина с сельсином.

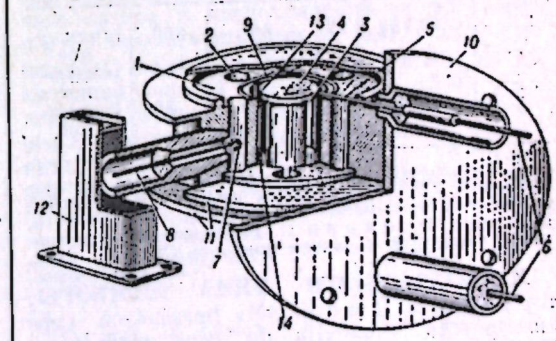
обмотки сельсина напряжением двойной частоты, а напряжение осн. частоты М. компенсируется с помощью промежуточного тр-ра Tp_0.

Погрешность М. как элемента следящей передачи составляет ок. 0,25°. Если ошибка сельсина составляет 0,5 %, то общая погрешность следящей системы магнесин-сельсин не превышает 0,75°.

М. применяется для дистанц. передачи показаний авиаприборов и в др. устройствах, где требуется ничтожно малый момент нагрузки на задающем валу.

Лит.: Чистяков Н. И., Электрические авиационные приборы, М., 1950; Майоров Ф. В., Электронные регуляторы, М., 1956. *Ф. В. Майоров.*

МАГНЕТРОН (magnetron; magnétron; Magnetron) — электровакуумный прибор для генерирования колебаний диапазона СВЧ.



Разрез многокамерного магнетрона: *1* — анодный блок; *2* — цилиндрич. камера; *3* — катод; *4* — торцевая щека катода; *5* — держатель катода; *6* — выводы накала; *7* — петля связи; *8* — коаксиальная линия; *9* — связки; *10* — фланец; *11* — ребра охлаждения; *12* — волновод; *13* — щель камеры; *14* — сегмент анода.

Многокамерные М. нашли широкое применение в радиолокац. аппаратуре. Появление новых требований к сигналу передатчика современной системы (высокая стабильность частоты, спец. виды модуляции и т. п.) ограничивает область применения М., вместо к-рых используются *платинотроны*, *клистроны*, мощные *лампы бегущей волны* и др. приборы.

Конструкция многокамерного М. показана на рис. Анодный блок представляет свернутую в кольцо замкнутую замедляющую линию, обычно гребенчатого типа. Внутри расположен цилиндрич. катод относительно большого диаметра. Вывод энергии осуществляется из одной камеры при помощи элемента связи и линии, коаксиальной либо волноводной.

Часто в торцевые крышки вводятся полюсные наконечники, к к-рым снаружи присоединяется пост. магнит. Замкнутость замедляющей линии обусловливает дискретность спектра частот, на к-рых она может возбуждаться. В подавляющем большинстве случаев используется работа на той частоте, при к-рой сдвиг фаз между колебаниями в соседних камерах составляет π, т. н. π-вид колебаний. Чтобы отнести подальше частоты др. видов (на них могут появляться паразитные колебания), применяют связки, а на коротких волнах — разнокамерные системы. О взаимодействии электронов и бегущей волны см. *Магнетронного типа приборы*. На π-виде волна стоячая, но ее возможно представить двумя встречно бегущими, из к-рых одна синхронна и взаимодействует с электронным потоком. М. компактны, надежны в работе, имеют высокий кпд. К недостаткам относятся сравнительно низкая стабильность частоты (дестабилизирующие факторы: влияние нагрузки, непостоянство питающих напряжений, внешние мех. и температурные воздействия), невозможность работы в усилит. режиме, невозможность использования в режиме модуляции. Разработки магнетронов сыграли большую роль в развитии радиоэлектроники СВЧ и, в частности, в создании более совершенных приборов магнетронного типа. В табл. приводятся примеры параметров некоторых типов М., выпускаемых пром-стью.

Длина волны (см)	Мощность в импульсе (кет)	Кпд (%)	Напряжение в импульсе (ко)	Ток в импульсе (а)	Охлаждение
23	10 000	42	66	360	Жидкостное
10	1 200	62	30	65	Воздушное
3.3	400	45	30	30	Воздушное

Лит.: Бычков С. И., Магнетронные передатчики, М., 1955; Электронные сверхвысокочастотные приборы со скрещенными полями, пер. с англ., т. 1—2, М., 1961; Кукарин С. В., Современное состояние и тенденции развития приборов СВЧ, М., 1962.

Е. Д. Науменко.

МАГНЕТРОННОГО ТИПА ПРИБОРЫ, приборы типа «М» (magnetron type instruments; appareils du type magnétron; Geräte des Magnetrontypes),— обширный класс электровакуумных приборов, в к-рый входят: *магнетроны* многокамерные, *платинотроны*, *карматроны*, магнетронного типа *лампы бегущей волны* и *лампы обратной волны* и ряд др., встречающихся в практике реже. Особенностью М. т. п. является такое построение элементов их конструкции, при к-ром электроны движутся во взаимно-перпендикулярных пост. электрич. и магнитном полях, в силу чего М. т. п. иногда наз. приборами со скрещенными полями. Магнитное поле создается электромагнитом либо пост. магнитом, электрич. поле — анодом и катодом, к к-рым приложено пост. анодное напряжение. Анод и катод располагаются на неизменном по длине расстоянии, имеют прямолинейную либо кольцеобразную форму. Анод обычно является замедляющей волноведущей линией, катод может быть «настоящим» (эмитирующим электроны) либо «ложным».

В общем случае траектория электрона, движущегося в скрещенных статич. электрич. и магнитном полях, представляет один из видов трохоиды. Среднее значение переносной скорости электрона, параллельной поверхности анода, равно E_0/B_0, где E_0 — пост. электрич. поле, B_0 — индукция пост. магнитного поля в соответствующих единицах. ВЧ поля, а также поля, образованные пространств. зарядом, искажают траектории движения электронов. Сила ВЧ поля, действующая на электрон, летящий в скрещенных полях, не смещает электрон в направлении ее действия (за исключением случая, когда ее направление совпадает с направлением вектора магнитной индукции). Поперечная по отношению к переносной скорости электронов сила ВЧ поля ускоряет либо тормозит электроны, изменяя указанную составляющую скорости. При этом происходит обмен энергией между источником этой силы и электронами. Продольная составляющая электрич. ВЧ поля не изменяет среднего значения переносной скорости электронов. Под ее действием электроны смещаются в поперечном направлении, взаимодействуют с пост. электрич. полем и кинетич. энергия их не изменяется. Энергия, к-рой ВЧ поле обменивается с электронами, полностью поступает на обмен с источником пост. анодного напряжения. На рис. дана часть М. т. п. и обозначены поля. Электроны *1*, *2*, *3* тормозятся продольной составляющей ВЧ поля, электроны *4*, *5*, *6* ускоряются (предполагается выполнение условия синхронизма — переносная скорость электронов равна фазовой скорости волны). В результате первая группа электронов приближается к аноду, осуществляя передачу энергии от анодного источника ВЧ полю (полезный эффект); вторая перемещается к катоду, отбирая энергию от ВЧ поля. Переносная скорость электронов не изменяется, условия синхронизма сохраняются по всей длине прибора. Под действием поперечных сил ВЧ поля электроны *1*, *6* (для которых эта сила совпадает с E_0) ускоряются в продольном направлении. Для электронов *2*, *5* переносная скорость не изменяется, электроны *3*, *4* замедляются. В итоге электронное облако жестко группируется в областях тормозящих полуволи, где электроны к тому же приближаются к аноду, попадая в область интенсивного ВЧ поля. Ускоренные (вредные) электроны рассеиваются и попадают на катод, обусловливая нек-рое рассеивание тепла на нем. Жесткий характер группировки электронов в М. т. п. обусловливает высокие значения кпд, а большие поверхности катода — возможность получения больших мощностей. М. т. п. перспективны для применения в мощных радиопередающих устройствах диапазона СВЧ.



Лит.: Электронные сверхвысокочастотные приборы со скрещенными полями, пер. с англ., т. 1—2, М., 1961; Покорный, Кашник, Хвалл (Pokorny G. E., Kuschnick A. E., Hull J. E.). Демагнетрон — новый усилитель со скрещенными полями, «ЗР», 1963, № 2, с. 105—20.

Е. Д. Науменко.

МАГНИСТОР (magnistor; magnistor; Magnistor) — магнитный элемент с разветвленным магнитопроводом, выполненным из двух частей. Одну часть магнитопровода делают из материала с прямоугольной петлей гистерезиса (ППГ), а вторую — из материала, имеющего непрямоугольную петлю гистерезиса и высокую проницаемость (рис.). М. применяется в вычислит. технике как элементы памяти, логич. и переключающие элементы.

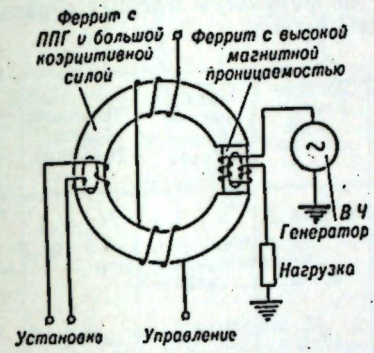


Схема магнистора.

Действие М. основано на использовании св-в коммутации магнитного потока в разветвл. магнитопроводе и св-в управляемого дросселя. После прохождения тока через обмотку управления участок с ППГ остается в намагниченном состоянии. Также намагничивается участок магнитопровода с высокой магнитной проницаемостью и его индуктивное сопротивление резко падает. При этом на нагрузке появляется все напряжение ВЧ генератора, служащего источником питания. После прохождения импульса тока через обмотку «установка» участок магнитопровода с ППГ оказывается размагниченным, и под действием перем. тока ВЧ происходит перемагничивание части магнитопровода, имеющей высокую проницаемость. При этом индуктивное сопротивление обмотки, располож. на нем, резко возрастает, а падение напряжения на нагрузке уменьшается. Т. о., два запоминаемых магнитных состояния сердечника дают два разных значения индуктивности обмотки для ВЧ сигнала. М. может работать до темп-р ок. 100°С. Частота перем. тока для питания М.— до 10 *Мгц*.

Г. Д. Козлов.

МАГНИТНАЯ ГОЛОВКА (magnetic head; tête magnétique; Magnetkopf) —приспособление для записи, воспроизведения или стирания информации на магнитной поверхности. Часто ф-ции записи и воспроизведения выполняются одной М. г., к-рая наз. универсальной. Устройство М. г. зависит от назначения, типа и конструкции магнитного носителя информации, способа записи и ряда эксплуатац. требований (см. *Магнитная запись*).

М. г. состоит из двух осн. частей: магнитного сердечника для концентрации магнитного потока и соответствующих обмоток для подачи или снятия сигнала (импульсов электрич. напряжения). Конструктивно М. г. обычно собирается в спец. оправе — обойме, изготовл. из немагнитных материалов и служащей для установления ее в блоке накопителя и юстировки относительно перемещающейся магнитной поверхности.

По конструкции магнитной цепи М. г. делятся на головки с разомкнутой цепью — стержневые, и с замкнутой цепью — кольцевые. В совр. ЗУ преимущественно используются кольцевые М. г. (рис. 1), осуществляющие продольную запись. Они состоят из двух полуколец, набранных из тонких изолиров. ферромагнитных пластин, между к-рыми образуются два зазора: рабочий и задний. Величина рабочего зазора является осн. хар-кой М. г., определяющей качество самой головки и хар-ки ЗУ (плотность записи, частотный диапазон, надежность работы). Для сохранения постоянства геометрич. размеров рабочего зазора и предохранения от забивания посторонними частицами он заполняется прокладкой из немагнитного материала (напр., латунной фольгой или слюдой). Задний зазор является технологическим и служит для уменьшения остаточного намагничивания сердечника. В зависимости от типа М. г. на сердечник наматывается одна или две обмотки, число витков и ток к-рых определяют режим записи и уровень воспроизведения сигнала.

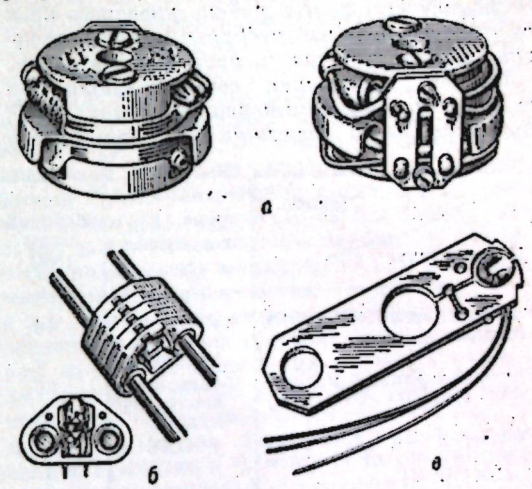


Рис. 1. Кольцевые магнитные головки: *а* — от магнитной ленты машины БЭСМ; *б* — от магнитного барабана машины ДЕККА; *в* — от магнитной ленты машины «Стрела».

На рис. 2 схематически изображена кольцевая универс. М. г., применяемая в ЗУ на магнитном барабане машины М-2.

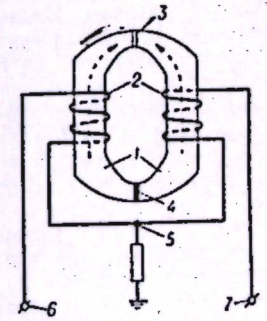


Рис. 2. Универс. головка магнитного барабана машины М-2: *1* — С-образные керны магнитопровода; *2* — обмотки записи и воспроизведения; *3* — рабочий зазор; *4* — задний зазор; *5* — контроль токов записи; *6* — вход записи 0; *7* — вход записи 1 и чтения 0 и 1.

Процесс записи сводится к подаче на обмотку записи электрич. импульса, создающего в сердечнике М. г. магнитный поток нужного направления. При этом силовые линии стремятся пройти через участок магнитной поверхности носителя, находящийся вблизи рабочего зазора, а не через зазор, имеющий высокое магнитное сопротивление, в результате чего участок поверхности под головкой намагничивается. Направление намагничивания определяется полярностью ампер-витков записи и зависит

от используемого способа записи. Записывающая М. г. должна иметь достаточно большой рабочий зазор, чтобы обеспечить нужную глубину проникновения поля в магнитный слой носителя, в то же время размер зазора ограничивается требованием высокого градиента записывающего поля в районе переднего края рабочего зазора, что необходимо для получения высокой плотности записи информации.

Процесс считывания осуществляется при движении носителя мимо рабочего зазора М. г.; при этом через сердечник М. г. замыкаются силовые линии магнитного потока носителя, стремясь пройти по пути с низким магнитным сопротивлением. Изменяющийся магнитный поток создает на обмотке считывания напряжение, форма или полярность к-рого указывает на знак считываемой информации. Для получения большей амплитуды сигнала при считывании необходимо увеличивать относит. скорость перемещения и число витков в обмотке. Воспроизводящая М. г. характеризуется разрешающей способностью, оценивающейся числом различаемых изменений магнитного потока на единицу длины носителя или частотным диапазоном. Нижний уровень воспроизводимых частот ограничивается тем, что амплитуда считанного сигнала пропорциональна частоте и сравнивается с шумами. Верхний уровень частоты ограничивается потерями в сердечнике и минимально возможной шириной рабочего зазора воспроизводящей М. г.

Стирающие М. г. выполняются в двух вариантах в зависимости от способа записи: в виде электромагнита с питанием пост. током (или пост. магнита) при стирании методом намагничивания носителя до насыщения, и в виде электромагнита с питанием перем. током; в последнем случае величина магнитного поля постепенно по мере продвижения носителя под М. г. уменьшается до нуля.

В целом качество любой М. г. существенно зависит от магнитных свойств материала сердечника, геометрич. размеров и формы магнитопровода, его износоустойчивости, точности механич. допусков, числа витков обмоток, индуктивности, добротности, собств. резонансной частоты и ряда др. параметров. Стремление увеличить диапазон рабочих частот М. г. приводит к использованию ферритовых М. г., имеющих на ВЧ низкую проводимость и пост. магнитную проницаемость. В 1956 была сконструирована (США) головка, работающая на частоте $f_{макс} = 4$ *Мгц*, имеющая разрешающую способность 680 *периодов/мм*. М. г. совершенствуются путем применения новых принципов записи и считывания. Созданы головки, чувствительные к величине магнитного потока, отличающиеся высокой разрешающей способностью, к-рая в отдельных случаях достигает 800 *имп/мм* при небольшой скорости движения (см. табл.). К ним относятся считывающая электронолучевая головка, головка, использующая эффект Холла, магнитомодуляц. головка и др. Параметры нек-рых образцов М. г. приведены в табл.

Наименование \ Данные	Материал сердечника	Рабочий зазор (*мк*)	Обмотки (витки)	Воспроизводимый сигнал (*мв*)	Частота воспроизведения (*кгц*)	Плотность записи (*имп/мм*)	Ток стирания (*ма*)
Универсальная КМГ-2 (ЭВМ «Стрела»)	Капельного типа, пермаллой	40	200	0,2—0,8	1	1,4	–
Универсальная для магнитного барабана (ЭВМ М-2)	С-образные керны, пермаллой	20	300×2	20—30	24	1	–
Универсальная ДУМГ-1 для магнитной ленты (ЭВМ БЭСМ)	80НХС	20/100	700×2	10—15	16	8	–
Стирающая головка СГ магнитной ленты (ЭВМ БЭСМ)	80НХС	500	500×2	—	—	—	90
Опытная головка (США)	–	4	–	1,5	1000	120 (до 800)	–

В. П. Иван.

МАГНИТНАЯ ЗАПИСЬ электрических сигналов (electrical signal magnetic recording; enregistrement magnétique de signaux électriques; magnetische Aufzeichnung elektrischer Signale) — фиксация электрич. сигналов, основанная на способности ферромагнитного тела намагничиваться под действием внешнего магнитного поля и сохранять остаточное намагничивание после прекращения действия этого поля. При М. з. (рис. 1) ферромагнитный носитель записи (проволока, лента, диск или барабан) перемещается с пост. скоростью, проходя поочередно через магнитные поля, создаваемые *магнитными головками* стирания (ГС), записи (ГЗ) и воспроизведения (ГВ). Наиболее распространена продольная запись посредством кольцевой головки (рис. 2). Записываемый сигнал после усиления до необходимого уровня поступает в обмотку ГЗ, в зазоре к-рой при этом возникают в такт с колебаниями записываемого сигнала колебания напряженности магнитного поля. Перем. магнитное поле воздействует на ферромагнитное вещество — носитель записи — и изменяет его магнитное состояние. В результате в носителе возникает остаточное намагничивание, изменяющееся вдоль его длины и соответствующее записываемому сигналу. При прохождении переменно намагнич.

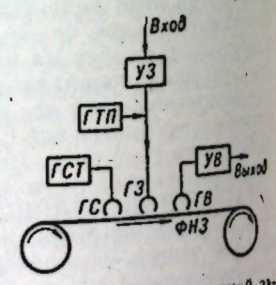


Рис. 1. Схема магнитной записи и воспроизведения электрич. сигналов: *УЗ* — усилитель записи; *ГЗ* — головка записи; *ФНЗ* — ферромагнитный носитель записи; *ГВ* — головка воспроизведения; *УВ* — усилитель воспроизведения; *ГС* — головка стирания; *ГСТ* — генератор стирающего тока; *ГТП* — генератор тока подмагничивания.

носителя записи мимо ГВ в ней создается перем. магнитный поток. При этом в обмотке ГВ возникает эдс, величина к-рой изменяется в соответствии со степенью намагниченности носителя записи. С выхода ГВ сигналы поступают в усилитель воспроизведения (УВ), на выходе к-рого получают копию записанного электрич. сигнала.

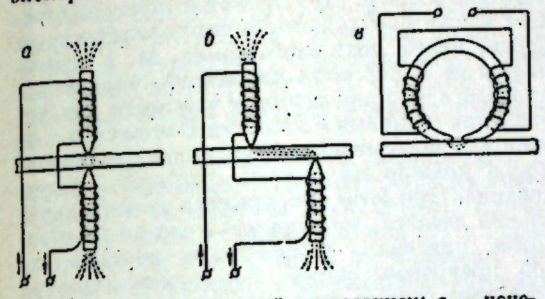


Рис. 2. Виды магнитной звукозаписи: *а* — поперечная; *б* — продольно-поперечная; *в* — продольная.

Одно из осн. преимуществ М. з. — возможность удаления с ферромагнитного носителя следов предыдущей (старой) записи — стирание записи. Для этого перед ГЗ по ходу движения носителя записи устанавливается ГС, в обмотку к-рой от генератора ГСТ подается ток УЗ частоты (40—60 *кгц*). Проходя мимо ГС, носитель записи попадает в перем. по величине и направлению магнитное поле, амплитуда к-рого максимальна в самом рабочем зазоре и плавно спадает по его сторонам (рис. 3). В области зазора носитель записи доводится до магнитного насыщения, знак которого изменяется с частотой тока в обмотке ГС. При выходе носителя из зазора он попадает в постепенно ослабевающее магнитное поле, и процесс его перемагничивания следует по постепенно сужающимся петлям гистерези-

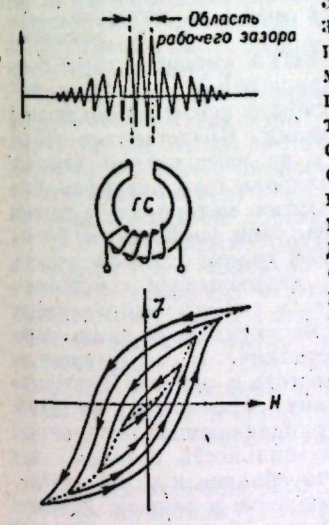


Рис. 3. Принцип действия стирающей головки: стирающая головка *ГС* (сверху — напряженность магнитного поля *H* под ней; снизу — сужающиеся петли гистерезиса при размагничивании носителя; *J* — намагниченность.

са, что приводит носитель в размагниченное состояние. Для полного размагничивания носителя магнитное поле в зазоре должно быть достаточно сильным (в 10—15 раз большим, чем поле в ГЗ), чтобы доводить ферромагнитное вещество в рабочем зазоре до насыщения, и достаточно медленно убывающим по амплитуде по обе стороны зазора.

М. з. характеризуется след. осн. параметрами: динамич. диапазоном, нелинейными искажениями, частотной хар-кой и степенью неравномерности движения носителя записи. **Динамич. диапазоном** наз. разность в уровнях самого сильного и самого слабого электрич. сигналов, к-рые в состоянии воспроизводить аппаратура. Нижний уровень определяется собст. шумами носителя записи, верхний — допустимыми **нелинейными искажениями**. Напр., при записи звука на магнитную пленку динамич. диапазон ок. 55 *дб*. Если нелинейные искажения не имеют значения (кодовая запись), то динамич. диапазон может быть много выше. Нелинейные искажения обусловливаются выбором режима записи, нелинейностью кривых намагничивания сердечников головок, а также непостоянством и различием скоростей носителя при записи и воспроизведении сигналов. В совр. высококачеств. магнитофонах колебания скорости движения носителя сведены к технически возможному минимуму (0,1%) и практически не прослушиваются. **Частотная хар-ка тракта запись — воспроизведение** зависит от качества носителя записи и головок, от степени прилегания головок к носителю, а также от св-в магнитной записи (самостирание, саморазмагничивание). **Неравномерность движения** носителя записи приводит к амплитудным и частотным искажениям записываемых электрич. сигналов.

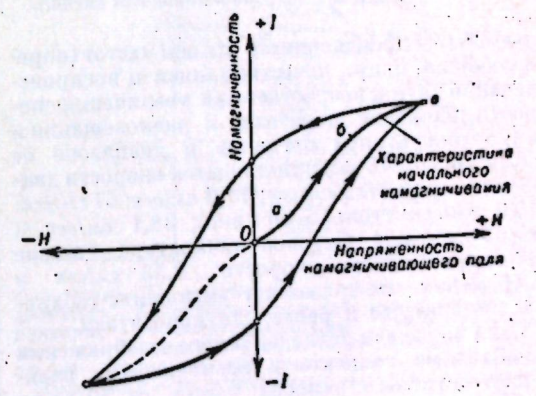


Рис. 4. Петля гистерезиса ферромагнитного тела.

Носитель при М. з. намагничивается по кривой нач. намагничивания, имеющей, кроме прямолинейного, также и криволинейные участки. Для уменьшения нелинейных искажений (правильного выбора рабочей точки на хар-ке) через обмотку ГЗ, помимо записываемых электрич. сигналов, пропускается пост. ток или ток УЗ частоты. Пост. ток смещает рабочую точку на прямолинейный участок *а—б* кривой намагничивания (рис. 4). Недостаток режима пост. тока — малый динамич. диапазон записи. Наиболее совершенен режим записи с применением дополнит. синусоидального тока подмагничивания УЗ частоты (40—60 *кгц*), получаемого от генератора, питающего ГС. Под действием поля подмагничивания УЗ частоты кривая намагничивания ферромагнитного вещества носителя как бы спрямляется (рис. 5). Это позволяет осуществлять более глубокую модуляцию без искажений, т. е. увеличивает динамич. диапазон записи. Величина тока подмагничивания выбирается такой, чтобы частичное размагничивание носителя (самостирание) на участке затухания ВЧ поля около зазора ГЗ было невелико.

По сравнению с др. видами записи электрич. сигналов (механич., фотографич. и др.)

М. з. имеет ряд преимуществ: более высокие качеств. показатели, возможность немедленного воспроизведения запис. сигналов и многократного использования носителя путем стирания предыдущих записей, большой частотный диапазон (от единиц *гц* до 7—8 *Мгц*), большая емкость записи при относительно небольших габаритах аппаратуры, практически неограниченный срок хранения. Величина записываемой (воспроизводимой) полосы частот (определяющая, напр., качество записи и воспроизведения звука) возрастает при увеличении скорости движения носителя. В радиовещании и кино для записи сигналов в диапазоне от 30 *гц* до 15—16 *кгц* применяются скорости движения ленты 76,2 *см/сек*; 71,2 *см/сек*; 57 *см/сек*; 45,6 *см/сек* (только в кино); 38,1 *см/сек* и 19,05 *см/сек*; в бытовой аппаратуре — также и более низкие скорости: 9,53 *см/сек* и 4,76 *см/сек*, что позволяет уменьшить габариты аппаратуры и расход звуконосителя.

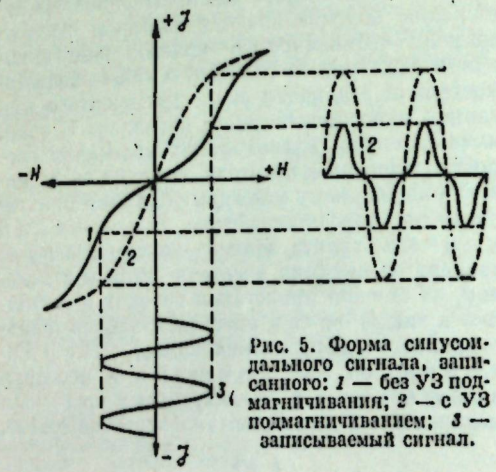


Рис. 5. Форма синусоидального сигнала, записанного: *1* — без УЗ подмагничивания; *2* — с УЗ подмагничиванием; *3* — записываемый сигнал.

Для передачи телевизионного изображения необходимо записать и воспроизвести электрич. сигналы с полосой частот от 50 *гц* до 6,5 *Мгц* (черно-белое изображение) и до 8—10 *Мгц* (цветное изображение). Для неискаж. записи и воспроизведения электрич. сигналов в таком широком диапазоне частот разработаны спец. магнитные головки, новые типы носителей записи и лентопротяжные механизмы с автоматич. системой слежения за постоянством скорости движения ленты. Неискаж. запись и воспроизведение телевиз. изображения оказались возможными только при резком увеличении скорости движения носителя записи (с 3—4 *м/сек* до 40 *м/сек*). Это достигается поперечной системой записи, при к-рой магнитные головки вращаются со скоростью 12—15 тыс. *об/мин* поперек носителя записи, движущегося мимо них с небольшой скоростью (3,8 *м/сек*). При этом относит. скорость между носителем записи и головками составляет примерно 40 *м/сек*, каждая строка поперечной записи соответствует строке телевиз. изображения.

В авиации и при космич. полетах М. з. употребляется для регистрации показаний бортовой научной аппаратуры, для изучения вибраций, темп-ры, ускорений, давления и др. В метеорологии, металлургии и др. при помощи М. з. осуществляется дистанц. регистрация различных процессов. Магнитная запись широко применяется в качестве накопителя информации в вычислит. машинах, счетно-решающих и модулирующих устройствах. На магнитной ленте записываются импульсы, составляющие коды цифровой информации. Здесь отсутствует требование жесткой идентичности формы входных и выходных сигналов; осн. параметром системы является плотность записи, т. е. число кодовых импульсов, к-рое возможно разместить на единице длины носителя записи. При записи импульсов отпадает также необходимость спрямления хар-ки перем. полем подмагничивания. М. з. применяется и в системах автоматич. управления производств. процессами, в частности для управления станками и линиями. В этом случае на носителе записывается в виде кода программа, к-рую должно выполнять автоматич. оборудование. При этом сокращается время изготовления деталей, упрощается процесс их обработки, благодаря возможности монтажа новой программы путем склеивания отрезков носителей старых программ или путем записи сигналов в то время, когда станком управляет вручную высококвалифицированный рабочий. В эксперимент. физике М. з. позволяет фиксировать ход исследуемых процессов и многократно их повторять для последующего изучения. М. з. применяется также для записи телефонных разговоров, напр. на малых АТС, упрощения диспетчерской работы на больших пр-тиях, железных дорогах и др.

Лит.: Высоцкий М. З., Магнитная звукозапись кинофильмов, М., 1960; Парфентьев А. И. и Пуссэт Л. А., Физические основы магнитной записи звука, М., 1957; Катеринников Р. М., Раковский В. В., Комар В. Г., Установка для магнитной записи изображения, «Техника кино и телевидения», 1960, № 2; Иоффе А. Ф., Применение магнитной записи, М.—Л., 1959.

Ю. Б. Любченко.

МАГНИТНАЯ ЛЕНТА (magnetic tape; bande magnétique; Magnetband) — носитель информации в виде гибкой ленты, обладающей магнитными свойствами. Представляет собой двухслойную ленту из немагнитной основы (подложки — ацетилцеллюлоза, целлофан, бумага, различные пластич. материалы, а также немагнитные металлы типа фосфористой бронзы), на к-рую нанесен тонкий слой ферромагнитного покрытия, являющегося собственно *магнитным носителем*. Реже используется стальная лента с магнитными св-вами. Осн. преимущества неметаллич. М. л. — невысокая стоимость и простота в работе. Недостатки — низкая механич. прочность, большой механич. износ, ограничивающий число прогонов, невысокая стабильность размеров после изготовления (коробление и т. п.) и чувствительность к влажности и темп-ре. Металлич. М. л. более прочны, позволяют работать с повыш. скоростями протягивания ленты, но сложны в эксплуатации (при обрывах) и дороги в изготовлении.

М. л. широко используется для *магнитной записи* различных электрич. сигналов. В вычислит. технике М. л. находят применение в ЗУ. От св-в М. л. зависят такие параметры ЗУ, как надежность хранения, емкость, быстродействие.

К М. л. предъявляется требование однородной магнитной поверхности при значит. длине. Практически получить М. л., свободную от неоднородностей (посторонние вкрапления, воздушные пузырьки и т. п.), при массовом произ-ве трудно. Поэтому перед использованием М. л. обычно испытывают и каждое дефектное место маркируют т. о., чтобы можно

было обнаружить это место и не вести записи поблизости от него.

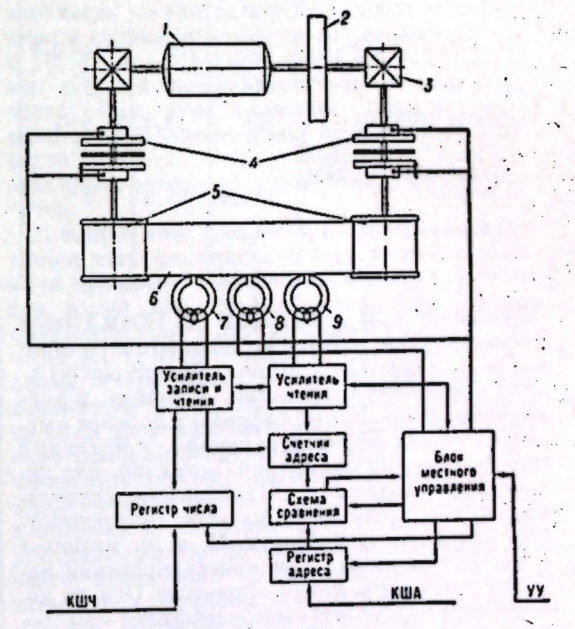
Запись, считывание и стирание информации на М. л. осуществляются с помощью *магнитных головок* (МГ). Количество параллельно работающих каналов определяется разрядностью информации, принятым способом работы и шириной используемой М. л. и колеблется от 1 до 128. Ширина М. л. ограничена величиной допустимого перекоса, прочностью ленты и скоростью ее перемещения. Известны М. л. шириной от 6,35 до 355,6 *мм*. В ЗУ М. л. обычно работает в старт-стопном режиме.

Скорость движения ленты должна быть достаточно постоянной для получения на выходе примерно одинаковой амплитуды, поэтому участки ленты, находящиеся под МГ в период разгона или торможения, не пригодны для записи информации. Расположение материала на М. л. производят по *зонам магнитной ленты* с учетом необходимого расстояния между адресом и его зоной и между соседними зонами. Эти пропуски снижают емкость М. л., к-рая определяется плотностью записи и длиной ленты. Обычно стандартная длина лент в одном рулоне — от 120 до 1000 *м*. Известны экспериментальные ЗУ на М. л. шириной 25 *мм*, на к-рой размещаются параллельно 32 МГ, имеющие продольную плотность записи 120 *импульсов/мм*, т. е. поверхностная плотность достигает примерно 16 000 *импульсов/см*^{2}. Плотность записи в продольном и поперечном направлении определяется св-вами магнитного носителя и параметрами записывающих МГ, взаимными влияниями магнитных отпечатков, головок, необходимостью экранировки и т. д.

Скорость, с к-рой информация принимается и выдается из ЗУ на М. л., зависит от скорости перемещения ленты, плотности записи и числа дорожек на ленте. Скорость ленты ограничивается износом ленты и головок от трения (в связи с большой абразивностью покрытия М. л.), трудностью поддержания контакта между лентой и головкой на большой скорости. Так, в машине «Урал-1» при скорости протягивания ленты 1,2 *м/сек* и параллельно-последовательной записи скорость записи и воспроизведения 2700 *знаков/сек* или 75 *чисел/сек*, а в машине «Стрела» при параллельной записи и скорости движения ленты 0,5 *м/сек* — 40 000 *знаков/сек* или 1000 *чисел/сек*.

Для перемещения М. л. служит лентопротяжный механизм (ЛПМ), к-рый подводит под МГ заданный участок М. л. ЛПМ должен иметь стабильную скорость перемещения ленты, малую инерционность при разгоне и остановке, точность протяжки, обеспечивающую минимум вибраций ленты и хороший контакт между лентой и МГ. Наиболее широко применяются ЛПМ с двумя бобинами; с одной из них лента сматывается, а на другую наматывается. Бобины вращаются благодаря фрикц. сцеплению рабочих поверхностей якоря и статора электромагнитной муфты. Для снижения времени разгона, остановки и реверса ленты бобины отделяют от рабочего привода свободными петлями из ленты, образующими необходимый резерв на период срабатывания вспомогат. привода бобин. Этим исключают влияние инерционности бобин (см. рис. на отд. листе). Запас ленты измеряется и контролируется следящей системой. Применяют безбобинные ЛПМ, в к-рых лента может прижиматься то к одному непрерывно вращающемуся ролику, то к др. При движении лента свободно спадает с роликов в спец. карманы. Эти меры приводят к снижению времени разгона от 200—400 *мсек* у обычных бобинных механизмов до 5—10 *мсек*.

М. л. с МГ и ЛПМ образует накопит. блок ЗУ на М. л. Кроме него, в состав ЗУ входят элементы управления, предназнач. для записи и усиления считанных сигналов, поиска нужных зон М. л. и синхронизации работы устройства во времени. Упрощенная блок-схема ЗУ на М. л. дана на рис.



Блок-схема ЗУ на магнитной ленте: *1* — электродвигатель; *2* — стабилизирующий маховик; *3* — редукторы; *4* — электромагнитные муфты сцепления; *5* — бобины; *6* — магнитная лента; *7* — числовая универсальная головка; *8* — стирающая головка; *9* — маркерная считывающая головка.

ЗУ на М. л. обладает рядом достоинств: 1) большая емкость при сравнительно небольшом количестве оборудования и неограничен. время хранения записанных кодов без периодич. восстановления. Емкость одной ленты до сотен тыс. кодов, а при смене бобин можно получить неограничен. емкость. Перспективной считается коммутация неск. М. л. со своими ЛПМ (блоков М. л.) к одной электронной схеме; 2) высокая надежность хранения и выдачи информации. Так, при использовании метода фазовой модуляции получают не более одной ошибки на 10^{10} считываемых двоичных знаков; 3) хорошие экономич. показатели, низкая стоимость, компактность, универсальность использования и малое электронное оборудование. Недостатки: относительно невысокое быстродействие, связанное с поиском зоны М. л. и механич. перемещением; наличие ЛПМ в накопит. блоке, что приводит к необходимости сочетания чисто электронных схем с механическими, а это часто является источником ошибок в работе. Тем не менее ЗУ на М. л. являются самым распространенным видом внешних накопителей в вычислит. машинах. Данные по нек-рым конкретным образцам приведены в табл.

Наименование машины / Параметры магнитной ленты	Длина рулона (м)	Ширина (мм)	Скорость движения (м/сек)	Плотность записи (имп/мм)	Емкость (тыс. кодов)	Количество блоков	Скорость записи и чтения на 1 дорожку (двоичных знаков в сек)	Система записи
«Меркурий» (Англия)	1000	—	1,5	10	—	8	15000	—
«Элиот» 405 (Англия)	330	—	1,2	6	300	16	—	—
БЭСМ (СССР)	120	6,5	2	8	25—30	4	16000	Последовательная
«Урал-1» (СССР) . .	250	35	1,2	0,8	40	1	900	Параллельно-последовательная
«Стрела» (СССР) . . .	120	125	0,5—0,7	1,4—2	50—100	2—3	1000	Параллельная
М-2 (СССР)	600	6,5	0,4	3	50	1	1200	Последовательная
НОРК (США)	420	12,7	3,5—4	20	400	8	70000	Параллельно-последовательная
ТРАНЗАК S 2000 (США)	182,8	25,4	3	—	—	48	—	Параллельно-последовательная
ИБМ-650 (США) . .	800	—	1,9	8	—	6	15000	—

В. П. Иссл.

МАГНИТНАЯ ТОНКАЯ ПЛЕНКА (thin magnetic film; péllicule magnétique mince; dünne Magnetfolie, dünne Magnetplatte) — слой магнитного вещества, толщина к-рого сравнима с линейными размерами доменов в монокристаллах обычной величины, нанесенный на плоскую или цилиндрич. металлич. или диэлектрич. подложку. Наибольшее применение М. т. п. получили в качестве быстродействующих элементов памяти. М. т. п. начинает применяться также при конструировании параметронов и др. логич. элементов. Осн. их достоинства — высокое быстродействие ($\sim 10^{-8}$—10^{-9} сек.), отсутствие разогрева при перемагничивании с ВЧ, низкая стоимость, более высокая (по сравнению с ферритовыми сердечниками) температурная стабильность, малые габариты, большие допустимые изменения токов записи и считывания в схемах ЗУ, малая мощность, расходуемая на переключение. М. т. п. выполняются из магнитомягких сплавов с осаждением в вакууме в магнитном поле, параллельном поверхности подложки, или электролизом. Вектор намагниченности в М. т. п. лежит в плоскости пленки, параллельно приложенному при осаждении или электролизе внешнему магнитному полю.

М. т. п. можно рассматривать как однодоменную область с одним направлением (или осью) легкого намагничивания, вдоль к-рого при отсутствии внешних магнитных полей устанавливается вектор намагниченности. Магнитные св-ва ферромагнетиков обусловлены механич. моментом электронов. Наличие у М. т. п. механич. момента приводит к тому, что под действием внешнего магнитного поля вектор намагниченности, подобно гироскопу, начинает вращаться в плоскости, перпендикулярной к направлению внешнего поля. Во время этого вращения вектор намагниченности выходит из плоскости пленки. В результате на граничных поверхностях пленки образуются магнитные заряды, к-рые создают сильное размагничивающее поле, перпендикулярное к ее плоскости. Вокруг этого перпендикулярного поля прецессирует вектор намагниченности. Прецессия сопровождается магнитной вязкостью. В результате этой прецессии вектор намагниченности поворачивается в плоскости пленки на 180°. Т. к. скорость прецессии пропорциональна напряженности магнитного поля, а возникающее перпендикулярное к плоскости пленки размагничивающее магнитное поле велико, то время переключения пленки получается очень малым. М. т. п. обладает определ. пороговым полем, к-рое необходимо превысить для того, чтобы произошло переключение. Если прикладываемое поле имеет относительно направления оси легкого намагничивания как параллельную $H_\parallel$ так и перпендикулярную $H_\perp$ составляющие, то величина порога для продольной составляющей поля зависит от величины перпендикулярной составляющей. Ур-ние для пороговых значений полей перемагничивания имеет вид $H_\parallel^{2/3} + H_\perp^{2/3} = H_k^{2/3}$, где H_k — нек-рая константа, наз. полем анизотропии.

На М. т. п. можно конструировать ЗУ двух типов: с непосредств. выборкой (тип *z*) и с совпадением токов (тип *x*, *y*). ЗУ типа *z* на М.т.п. по сравнению со схемами *x*, *y* допускают больший разброс электромагнитных св-в ячеек матрицы, большие пределы изменения токов считывания и записи и более высокое быстродействие. Недостаток ЗУ типа *z* — громоздкость схем управления для устройств большой емкости. Для ЗУ типа *x*, *y* требуется значительно меньше электронного оборудования. Схемы типа *z* могут применяться для сверхбыстродействующих накопителей малой и средней емкости, а схемы с совпадением токов — для накопителей большой емкости, но меньшего быстродействия. Наиболее распространены сейчас ЗУ на М.т. п. типа *z*. На рис. поясняется работа пленочной матрицы в ЗУ с непосредств. выборкой. В этой матрице каждую запоминающую ячейку пересекают 3 провода для чтения, записи и съема, иногда функции двух последних проводов выполняются одним. Для записи в к.-л. ячейку матрицы единицы в соответствующие провода записи и считывания подаются импульсы тока. Под действием импульсов тока записи и чтения пленка из состояния *0* переходит в состояние *1*. Амплитуды импульсов тока выбираются так, что запись единицы осуществляется только при совпадении двух взаимно-перпендикулярных импульсов тока. При воздействии только одного импульса записи пленка не перемагничивается. Для считывания в провод чтения соответствующего числа подается импульс тока с такой амплитудой, что пленка из состояния *1* переходит в состояние *0*. Если в пленке хранится нуль, то при воздействии импульса чтения вектор намагниченности отклонится на угол, меньший 90°, а после спада импульса тока чтения под

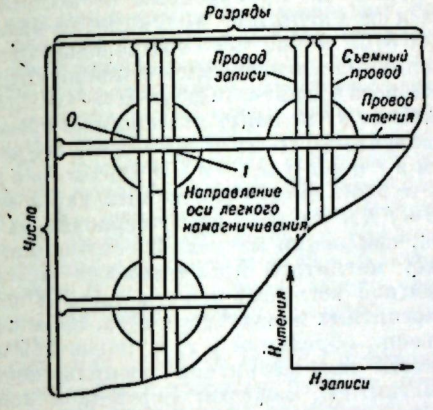


Схема пленочной матрицы ЗУ с непосредственной выборкой.

действием сил анизотропии вернется в исходное состояние. Т. к. направления вращения вектора намагниченности при считывании единицы и нуля противоположны, то соответствующие им импульсы напряжения на выходе съемного провода имеют разные полярности. Если величину амплитуды импульсов чтения выбрать так, чтобы при считывании единицы вектор намагниченности поворачивался относительно направления легкой оси на угол, меньший 90°, то получим ЗУ без разрушения информации при считывании.

В ЗУ на М. т. п. типа *x*, *y* считывание осуществляется при совпадении полутоков. Считывающее поле подается под малым углом к оси легкого намагничивания, т. к. в этих системах важна величина помехи от полувыбранных ячеек, к-рая уменьшается с уменьшением угла. Быстродействие ЗУ на М. т. п. обычно ограничивается электронными элементами, входящими в схему управления.

Кроме М. т. п. из магнитомягких металлов, существуют пленки из ферритов и магнитожесткие (напр., из MnBi с $H_c \approx 2500$ э). Эти последние два типа пленок практич. применения пока не получили. См. также *Магнитный носитель*.

Лит.: Кобелев В. В., Петли гистерезиса одноосных ферромагнитных пленок, в сб.: Магнитные элементы устройств вычислительной техники, М., 1961; Запоминающие устройства матричного типа на тонких ферромагнитных пленках, «ЗР», 1961, № 5; Гудинаф Дж., Смит Д., Магнитные свойства тонких пленок, в сб.: Магнитные свойства металлов и сплавов, пер. с англ., М., 1961; Methfessel S., Proebster W. E., Kinberg C., Thin magnetic films, «Information Processing», P.—München.—L., 1960, p. 439; Pohm A. V., Mitchell E. N., Magnetic film memories, «IRE Trans. Electronic Comput»,. 1960, v. EC-9, № 3; Schauer R. F. [e. a.], Some applications of magnetic film parametrons as logical devices, там же, p. 315—20.

В. В. Китович.

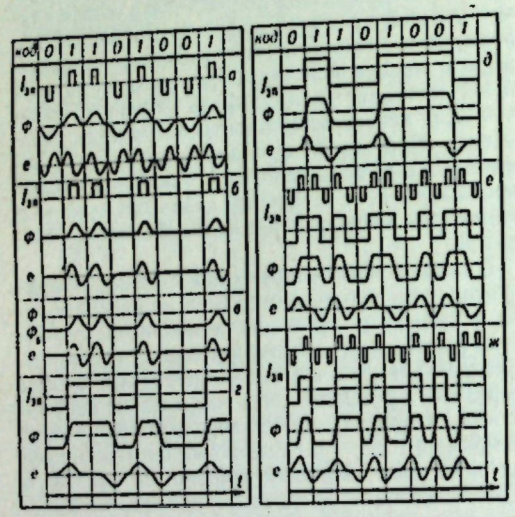
МАГНИТНОЙ ЗАПИСИ СПОСОБЫ в ЦВМ (magnetic recording methods; méthodes d'enregistrement magnétique; Arten der magnetischen Aufzeichnung) — способы записи двоичной информации на магнитной поверхности. По принципу физич. представления двоичной информации делятся на амплитудные, фазовые и частотные. Каждый из М. з. с. по логич. построению может использовать принцип «с возвращением к 0» или «без возвращения к 0». В первом случае в интервалы времени между записью отдельных двоичных знаков информации величина тока через магнитную головку (МГ) возвращается к нулевому значению. Преимущество такой записи — возможность переписи считанного сигнала на противоположный за один проход носителя под МГ, ибо в общем случае каждой двоичной цифре на магнитной поверхности соответствует отпечаток с нарастанием и спадом остаточного магнитного потока, и МГ начинает воспринимать сигнал раньше, чем под ней окажется центр магнитного отпечатка. При этом принципе имеются ограничительные возможности в увеличении плотности записи, т. к. каждый двоичный знак должен иметь четко различимый магнитный отпечаток.

Принцип «без возвращения к 0» характеризуется тем, что величина тока не возвращается к нулевому значению в последовательности нулей или последовательности единиц. Следовательно, в случае записи серии единиц через МГ протекает пост. ток в одном направлении, а при записи нулей направление тока изменяется на противоположное. Поскольку на один двоичный знак приходится максимум одно изменение магнитного потока, то макс. частота повторения сигналов в такой записи вдвое меньше частоты следования сигналов в способах «с возвращением к 0», что позволяет увеличить плотность записи. В этих способах часто используют самосинхронизирующиеся схемы, т. к. применение обычной синхронизирующей дорожки снижало бы возможности повышения плотности записи. С увеличением плотности записи при способе по принципу «с возвращением к 0» отдельные магнитные отпечатки начинают сливаться друг с другом, образуя картину распределения магнитного поля на поверхности и диаграмму считанных сигналов, аналогичную способам по принципу «без возвращения к 0».

При амплитудном способе (импульсный или двухполярный) и принципе «с возвращением к *0*» двоичная информация записывается на магнитную поверхность разнополярными импульсами тока для *1* и *0* (рис., *а*). При считывании получаются импульсы разной полярности *0* и *1*. Такой способ используется, напр., на магнитном барабане ЦВМ М-2. Имеются два дополнит. варианта записи по этому способу. В обоих вариантах для записи *1* импульс подается, а для записи *0* не подается. В первом варианте (рис., *б*) стирание информации проводится перем. током и запись *1* ведется на размагнич. поверхность, во втором (рис., *в*) — стирание информации проводится пост. током до насыщения и *1* записывается на поверхность, намагниченную до насыщения (напр., накопитель на магнитной ленте для ЦВМ «Стрела»). В обоих вариантах нельзя применить автоматич. стирание информации при записи новой, т. к. нуль кодируется отсутствием сигнала.

При амплитудном способе записи на принципе «без возвращения к *0*» (рис., *г*) считанные сигналы той или иной полярности имеются в начале или в конце последовательности *1* или 0. Отсутствие считанных сигналов в самой последовательности селектируется схе-

мами синхронизации как *1* или *0*. Но это часто является нежелательным из-за затруднений в синхронизации. Тогда используют вариант записи (рис., *д*), при к-ром изменяется направление тока через МГ при записи каждой *1* (или каждого *0*), а при записи *0* (или *1*) остается неизменным. При считывании информации наличие сигнала обеих полярностей воспринимается как *1* (или *0*), а отсутствие сигнала как *0* (или *1*).



Графики сигналов при различных способах магнитной записи: $I_{зп}$ — ток в магнитной головке; Φ — остаточный магнитный поток на поверхности носителя; Φ_s — остаточный поток насыщения; e — эдс считанного сигнала; t — время.

При фазовом способе токи записи находятся в противофазе (рис., *е*). Запись проводится либо двумя импульсами противоположной полярности, либо сменой полярности протекающего тока в центре магнитного отпечатка. В любом случае считанный сигнал имеет максимум вблизи центра магнитного отпечатка, причем перепад индукции более значителен, чем в амплитудном способе. Максимум считанного сигнала будет положителен или отрицателен в зависимости от записи 1 и 0. При таком способе достигнута плотность записи $p=35$ *имп/мм* при использовании МГ контактного типа.

Частотный способ отличается от фазового тем, что при записи *0* полярность тока меняется в центре отпечатка, а при записи *1* не меняется. Кроме того, полярность тока меняется также в начале и в конце каждого отпечатка (рис., *ж*). Вследствие этого для последовательности *0* при считывании частота импульсов выше, чем для последовательности *1*. Можно применить при считывании отделение кода *0* от *1* путем ограничения по верхнему пределу частоты усилителя воспроизведения. Плотность записи при использовании МГ контактного типа $p=25$ *имп/мм*. В вычислительной технике широко применяется амплитудный способ как наиболее простой.

Лит.: Сычук П. П., Гулин Ф. Ф., Палашевский А. М., Магнитная запись в вычислительной технике, М., 1958; Техника магнитной записи, пер. с нем., М., 1962.

А. В. Гусев.

МАГНИТНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ (magnetic measurements; mesures magnétiques; magnetische Messungen) — измерения: магнитного поля; свойств вещества по отношению к магнитному полю; величин, характеризующих магнитное состояние и магнитные свойства тела. К измерениям магнитного поля относятся измерения: магнитной индукции B; магнитного потока $\Phi=\int_s B\cdot dS$; производный от индукции по направлениям $\partial B/\partial x$, $\partial^2 B/\partial x^2$, $\partial^2 B/\partial x\partial y$ и т. д.; производных от магнитного потока и от магнитной индукции по времени $d\Phi/dt$, dB/dt; магнитного напряжения (разности скалярных магнитных потенциалов) $U_м$; напряженности магнитного поля $H=-\nabla U_м$; производных от H по направлениям и по времени; намагниченности среды $J=B-\mu_0 H$. В измерения магнитных свойств вещества входят: снятие магнитных хар-к вещества $B=f(H)$, $J=f(H)$ при апериодич. и при циклич. изменении магнитного состояния; измерение: магнитной проницаемости $\mu_a=B/H$ и магнитной восприимчивости $k_м=J/H$ пара- и диамагнитных веществ; средней, начальной, дифференц., обратимой и т. п. магнитной проницаемости или магнитной восприимчивости ферромагнитных веществ; остаточной индукции вещества B_r; коэрцитивной силы H_c; уд. потерь на перемагничивание и т. д. Для оценки магнитного состояния тела, характеризуемого распределением B и H по его объему V_o, измеряют значения Φ в различных сечениях тела, распределение $U_м$ по его поверхности, величину магнитного момента тела $p=\int_{V_o} J dV$. Магнитные свойства тела определяют зависимость его магнитного состояния от магнитной истории тела и, в частности,— от изменений напряженности внешнего магнитного поля $H_н$. Относительно полно их выражают магнитные хар-ки тела $\Phi=f(H_н)$, $\Phi=f(U_м)$, $p=f(H_н)$, $p=f(U_м)$ при апериодич. и при циклич. изменении $H_н$. Отд. магнитные свойства тела при определенных условиях характеризуются: работой перемагничивания тела $W_r=\int_{V_o} dV\oint HdB$ при циклич. изменении $H_н$ (в однородном внешнем поле $W_r=-\oint pdH_н$); магнитным моментом пост. намагничения ферромагнитного тела $p_н$; коэфф. пропорциональности между составляющими магнитного момента индуктированного намагничения (по осям нек-рой системы координат) и составляющими $H_н$ (по тем же осям); магнитными проницаемостями тела $\mu_{a\,o}=\Delta B/\Delta H_н$ и магнитными восприимчивостями тела $k_{a\,o}=\Delta J/\Delta H_н$ (определяемыми из усредненных по объему тела приращений ΔB и ΔJ магнитной индукции и намагниченности при заданных приращениях $H_н$).

Почти все виды М. и. сводятся к измерениям при определ. условиях одной или нескольких величин, характеризующих магнитное поле, напр. к непосредств. измерению координат вектора B (в частности — составляющих его по разным направлениям) в соответственно выбранных точках поля или к непосредств. измерению магнитных потоков, сцепленных с определ. контурами. Угловые координаты вектора B в неферромагнитной среде измеряют инклинаторами и деклинаторами с магнитомеханич., генераторными, магнитонасыщ., магнитоэлектрич. (зеемановскими) и др. *преобразователями магнитными* в качестве воспринимающих элементов. Составляющие B в такой среде измеряют *магнитометрами*. В неоднородном поле магнитометр дает значение B, усредненное по объему воспринимающего элемента магнитометра в соответствии с алгоритмом, зависящим от принципа действия и хар-к воспринимающего элемента магнитометра. Только нек-рые магнитные преобразователи (индукционный и генераторный со сферич. обмотками особой конструкции и ядерно-прецессионный со сферич. рабочим телом) позволяют получать показания, пропорц. значению B (или составляющим B) в определ. точке внутри воспринимающего элемента, положение к-рой не зависит от характера неоднородности поля. Для измерения B в ферромагнитных веществах обычно измеряют магнитный поток Φ через плоский контур K, охватывающий известную площадь S, определяют норм. к плоскости K составляющую B_n вектора B как $B_n=\Phi/S$ или измеряют B в воздушном зазоре, перпендикулярном направлению силовых линий в веществе.

Магнитный поток Φ обычно измеряют индукц. способом с помощью измерит. обмотки, витки к-рой укладывают по границе поверхности, пересекаемой измеряемым потоком. Приращение потока за нек-рый промежуток времени определяют, интегрируя наводимую в обмотке эдс за этот промежуток. Для измерения полной величины потока Φ измерит. обмотку быстро переносят в область пространства, где B равно нулю (или хорошо известной величине) или же поворачивают эту обмотку один или много раз на 180° вокруг оси, лежащей в ее плоскости (генераторный магнитный преобразователь). Для измерения H в однородной и изотропной неферромагнитной среде с известной абсолютной магнитной проницаемостью μ_a измеряют B и вычисляют H из соотношения $B=\mu_a\cdot H$. Измерение H в ферромагнитной среде *1* (или в любой среде с неизвестной магнитной проницаемостью) по методу непосредственной оценки состоит в измерении H в неферромагнитной среде *2* у поверхности раздела этих сред, параллельной силовым линиям, вдоль к-рой $H_1=H_2$. При измерении H в неферромагнитной среде компенсац. способом на измеряемое поле накладывают встречно направл. компенсирующее поле известной напряженности. Компенсирующее поле обычно создают системой обмоток с током и изменяют ток в обмотках, пока B (или J) в точке измерений не обратится в нуль. В ферромагнитной среде тот же способ измерения приводит, в отсутствие поля от посторонних источников, к определению коэрцитивной силы H_c материала. Магнитное напряжение (разность скалярных магнитных потенциалов, намагничивающую силу) вдоль заданного пути AKB: $U_{BA}=-\int_A K_B H\,dl$ (где dl — элемент пути интегрирования AKB) обычно измеряют индукц. способом, с помощью гибкой или жесткой измерит. катушки из большого числа витков одинаковой площади S_1, равномерно, с шагом h, распредел. вдоль оси катушки (магнитный потенциалометр, пояс Роговского). Внутренность катушки должна быть заполнена веществом с пост. магнитной проницаемостью μ_a. Тогда потокосцепление обмотки $\Psi=\mu_a\cdot S_1\cdot U_{BA}/h$.

Магнитные свойства вещества измеряют при магнитном поле в веществе, возможно более близком к однородному. Для этого из исследуемого вещества изготовляют образцы (кольцеобразные, эллипсоидальные, в виде стержней пост. сечения). Магнитное поле в образце создают обтекаемыми током обмотками, в случае надобности с магнитопроводом (рис. 1). Магнитную индукцию в веществе измеряют индукц. способом

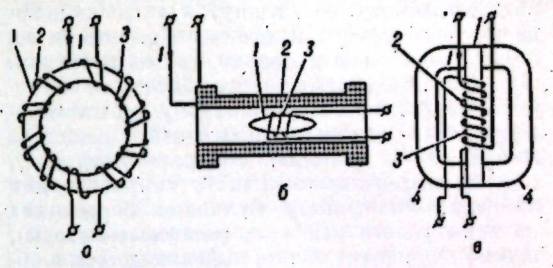


Рис. 1. Типичные образцы для измерения магнитных хар-к материала: *а* — кольцеобразный; *б* — эллипсоидальный (в коэрцитиметре); *в* — полосовой или стержневой (в пермеаметре); *1* — образец из испытуемого материала; *2* — намагничивающая обмотка; *3* — измерит. обмотка для измерения магнитной индукции в образце; *4* — ярмо из магнитно-мягкого материала высокой проницаемости.

(реже — магнитомеханич. или пондеромоторным), а напряженность магнитного поля определяют по величине тока в создающих поле обмотках или по величине B в воздухе у поверхности образца. Установки, состоящие из устройств для создания однородного поля в образце и магнитометров или измерит. обмоток и т. п., именуются (в зависимости от назначения и схемы) пермеаметрами, коэрцитиметрами, феррометрами, баллистическими установками, магнитометрическими установками и т. д.

Магнитные хар-ки чаще всего снимают при циклич. изменении магнитного состояния по

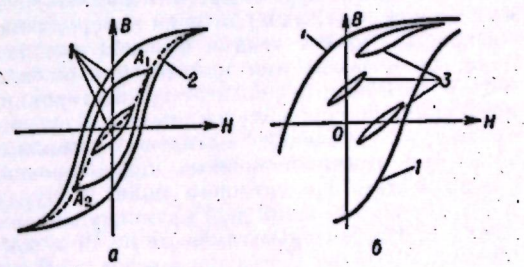


Рис. 2. Нек-рые магнитные хар-ки ферромагнитного материала: *а* — при циклич. изменении магнитного состояния между симметричными пределами; *б* — при изменении магнитного состояния между несимметричными пределами; *1* — симметричные петли гистерезиса; *2* — основная кривая намагничивания; *3* — частные петли гистерезиса.

симметричным петлям гистерезиса между двумя состояниями, изображаемыми в координатах H, B симметрично расположенными точками (A_1 и A_2 на рис. 2, *а*). Геометрич. место вершин симметричных петель гистерезиса наз. «основной кривой намагничивания» и часто приводят как единственную магнитную хар-ку материала (2 на рис. 2, *а*). Для ряда применений ферромагнитных материалов (электромагниты пост. тока, магнитные усилители) большее значение имеют магнитные хар-ки при изме-

нении магнитного состояния по «несимметричным» или «частным» петлям гистерезиса (*3* на рис. 2, *б*) между состояниями, несимметрично расположенными в координатах H, B. Магнитные проницаемости и восприимчивости вещества можно определять графич. построениями из хар-к $B=f(H)$. Нек-рые из магнитных проницаемостей (среднюю, обратимую, начальную) определяют, измеряя индуктивность измерит. обмотки, помещ. на замкнутом магнитопроводе из испытуемого вещества. Уд. потери на перемагничивание измеряют или по электрич. мощности, подводимой через обмотку от источника перем. тока к замкнутому магнитопроводу пост. сечения из испытуемого вещества (ваттметровые методы, аппарат Эпштейна), или по изменению активного сопротивления обмотки, вызванному наличием сердечника из испытуемого вещества (мостовые методы), или по количеству тепла, выделяющегося в образце (калориметрич. методы).

Магнитный момент p ферромагнитного тела (или иного источника магнитного поля) определяют по величине вращающего момента, действующего на этот источник при нахождении его в известном однородном внешнем магнитном поле с индукцией B: $M=\frac{1}{\mu_0}[p\,B]$, или измеряя магнитное поле, создаваемое самим источником. Для точки измерения, расположенной на оси x, на достаточно большом расстоянии x от источника поля, составляющие B_x, B_y, B_z магнитной индукции в этой точке по осям x, y, z связаны с составляющими p_x, p_y, p_z вектора p по тем же осям соотношениями:

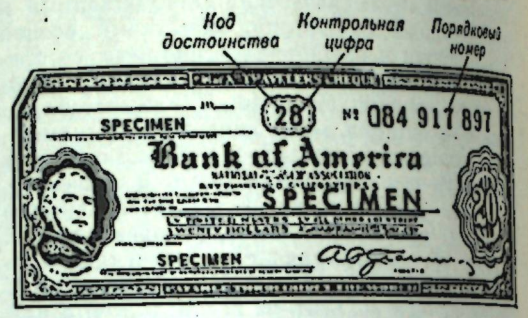
$$B_x=\frac{p_x}{4\pi}\cdot\frac{2}{x^3};\quad B_y=\frac{p_y}{4\pi}\cdot\frac{-1}{x^3};\quad B_z=\frac{p_z}{4\pi}\cdot\frac{-1}{x^3}.$$

Для исключения помех от др. источников магнитного поля и в первую очередь от магнитного поля Земли применяют дифференц. методы измерения, дающие разность значений измеряемой составляющей магнитной индукции в удаленных друг от друга точках. Магнитный момент пост. намагничения измеряют как магнитный момент тела в пулевом внешнем поле, получаемом при компенсации магнитного поля Земли (и полей от др. посторонних источников) полем обмоток, или как среднее арифметич. значений магнитного момента тела при противоположных ориентировках одного и того же внешнего поля. Полуразность тех же значений дает величину момента индуктированного намагничения $p_и$, по к-рому находят среднюю индуктированную намагниченность материала тела $J_{иср}=p_и/V_0$ и магнитную восприимчивость тела

$$k_{a0}=J_{иср}/H_и.$$

Лит.: Кифер И. И., Пантюшин В. С., Испытания ферромагнитных материалов (Магнитные измерения), 2 изд., М.—Л., 1962; Яновский Б. М., Земной магнетизм, 2 изд., М., 1953, с. 298, 331, 403, 574. См. также лит. при статьях *Преобразователь магнитный, Магнитометр. Б. И. Филипович.*

МАГНИТНЫЕ ЧЕРНИЛА (magnetic ink; encre magnétique; magnetische Tinte) — разновидность магнитного носителя, предназнач. для магнитной записи информации. Процесс магнитной записи может осуществляться как изменением состояния вещества магнитного носителя, так и нанесением М.ч. заданных геометрич. образов. Первый способ — «невидимая» запись на сплошном магнитном носителе с регистрацией посредством магнитных головок. Второй — сочетание М. ч. с раствором красящих веществ, к-рые наносятся на используемый документ в виде видимых отпечатков соответствующей информации, напр. цифровой. Невидимые М. ч. затрудняют визуальный контроль записи, но легко стираются и могут многократно использоваться. Существуют простые



Размещение информации, нанесенной магнитными чернилами на банковском чеке.

методы «проявления» обычно невидимых магнитных записей нанесением на поверхность носителя суспензии из карбонильного железа и гептана. Возможна последующая перепечатка видимых копий изображения на обычную бумагу (феррография). Широкое распространение получают видимые М.ч., к-рые удобны для работы и контроля за документами как для человека, так и для различных сортирующих автоматов, при вводе документов непосредственно в вычислит. машины. Напр., Амер. банк для ускорения обработки оплач. чеков установил устройство, считывающее порядковый номер и сумму чека, отпечатанные видимыми М.ч. В устройстве использован магнитный, а не оптич. метод считывания ввиду того, что на чеках, находящихся в обращении, делают надписи, ставят штемпеля и т. д. На рис. показано размещение информации на чеке. За год было обработано 6 млн. чеков, причем ошибки составили 0,75% (при ручной обработке — 3%). *В. П. Исеев.*

МАГНИТНЫЙ БАРАБАН (magnetic drum; tambour magnétique; Magnettrommel) — носитель информации в виде цилиндра, на боковой поверхности к-рого имеется покрытие, обладающее магнитными св-вами. Используется в ЭВМ. Данные хранятся на поверхности М. б. в виде намагнич. участков, разных по величине или направлению остаточного магнитного потока. Запись и считывание информации осуществляются через *магнитные головки* (МГ), к-рые устанавливаются с зазором 10—50 *мк* от магнитной поверхности. При записи информации ток, проходящий через МГ, создает магнитное поле, замыкающееся в магнитном слое на поверхности М.б., образуя намагнич. участок. При считывании намагнич. участок, проходя под МГ, индуцирует напряжение в ней, которое усиливается и формируется в сигнал 1 или 0. М. б. вращается со скоростью 600—20000 *об/мин* (известны отдельные примеры миним. скорости 100 *об/мин* и макс. скорости 100 000 *об/мин*). Линейная скорость магнитной поверхности относительно МГ составляет 10—60 *м/сек*, что значительно выше линейной скорости магнитной ленты.

Двоичная информация записывается рядами параллельных дорожек по окружности М.б. Коды чисел и команд на дорожках М.б. по отношению к МГ могут располагаться последовательно, параллельно или параллельно-последовательно. Адрес конкретной информации определяется ее геометрич. расположением на М.б. Для поиска адреса на поверхности М.б. наносятся при изготовлении или записываются метки синхронизирующих импульсов, коды адреса, начало группы, начало оборота и т. п. Продольная плотность (плотность записи двоичных знаков по дорожке) лежит в интервале 2—6 *имп/мм*, достигая в отдельных случаях 40 *имп/мм*; она ограничивается в основном зазором между магнитной головкой и барабаном. С увеличением зазора плотность падает из-за бо́льшей размытости остаточного магнитного поля по поверхности, снижающей разрешающую способность усилителя считывания. В этом случае возможны пониж. требования к механич. изготовлению барабана и более высокие скорости вращения. При уменьшении зазора плотность записи возрастает, но повышаются требования по допускам на конструкцию М.б. Для стабилизации величины зазора, обеспечивающей надежное считывание, учитываются температурные изменения размеров М.б.; при больших плотностях записи предусматриваются воздушные и масляные подушки между МГ и М.б. Поперечная плотность (плотность записи двоичных знаков по длине М. б.) определяется при выбранной емкости шириной МГ и влиянием краевых эффектов остаточного магнитного потока при считывании на соседние головки. Расстояние между дорожками должно исключать взаимные влияния магнитных полей при считывании. Продольная плотность составляет 4—10 дорожек на 1 *см*. Емкость дорожки $N_д=\pi D p_1$, где D — диаметр барабана (*мм*), p_1 — продольная плотность записи (*имп/мм*). Емкость всего М. б. прямо пропорциональна площади цилиндрич. поверхности: $N=\pi p_1 p_2 D l$, где p_2 — поперечная плотность дорожек (*имп/мм*), l — длина М. б. (*мм*).

ЗУ на М. б. относятся к периодическим. Макс. время ожидания равно времени одного оборота и, следовательно, обратно пропорционально скорости вращения. Ср. время ожидания равно половине времени одного оборота М. б. В нек-рых случаях для уменьшения времени ожидания по окружности М.б. устанавливаются несколько МГ и проводится коммутация головки, ближайшей к выбираемой в данный момент информации. Однако этот способ требует большего количества оборудования.

Рабочая частота следования импульсов с М. б. рассчитывается по ф-ле $f=\frac{\pi Dn}{60000}p_1$, где n — число оборотов М. б. в 1 мин., f — частота импульсов (*кгц*).

Конструктивно М.б. выполняются как с горизонт. осью вращения, так и с вертикальной. Цилиндр барабана изготовляется из алюминия, латуни, силумина, стали. Диаметр барабана колеблется от 50 до 1200 *мм*, длина — от 6 до 900 *мм*. Нередко барабан для защиты от пыли окружается металлич. кожухом, в к-ром с высокой точностью просверлены отверстия для МГ. Цилиндрическая поверхность М. б. покрывается слоем *магнитного носителя* (10—40 *мк*), напр. марки 101-а (СССР) с $H_c=570$ *э*, $B_0=1050$ *гс*.

М. б. используется как внешнее и промежуточное ЗУ в целом ряде универс. ЭВМ и как оперативное ЗУ в ЭВМ среднего и малого быстродействия. Находит также применение в электромоделирующих устройствах, в автоматике, напр. для задания и воспроизведения функциональных зависимостей, получения задержанных во времени сигналов.

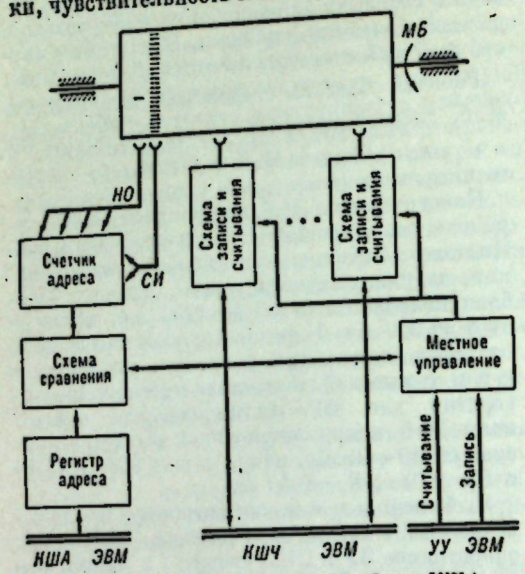
Наиболее распространенная блок-схема ЗУ на М.б. дана на рис. В адресной части происходит формирование текущего адреса ячейки, находящейся под головками считывания или записи, путем подсчета синхронизирующих импульсов *СИ* счетчиком адреса после импульса «начало оборота» *НО*. Во время обращения к М. б. происходит сравнивание заданного адреса с текущим и при их равенстве схемой сравнения выдается разрешение в местное управление М. б. на выполнение операции считывания или записи. Схемы усилителей считывания и формирователей тока записи производят необходимые действия по выдаче или записи числа.

Осн. достоинства М.б. — высокая надежность и способность сохранения информации при выключении питания, относит. простота

ЭВМ (фирма, тип)	Емкость двоичных пифр $N_д \times k$***	Поперечная плотность (дорожек на см)	Продольная плотность (*имп/мм*)	Скорость (*об/мин*)	Диаметр барабана (*мм*)	Длина барабана (*мм*)	Макс. время ожидания (*мсек*)	Частота повторения импульсов (*кгц*)
БЭСМ (СССР)	204800	3	3	750	300	270	80	35
М-3 (СССР)	2560×80	4,4	3,2	3000	216	70	20	108
«Урал-1» (СССР)	63488		3,4	6000	280		10	280
«Сперри Джироскоп»* (Англия)	2048×31							
«Феррранти» (Англия)	36864							
«Бритиш Табулейшн»** (Англия)	1024×36	10	4	1500	300	250		93
«Реминтон Рэнд» (США) тип 1120	$1\cdot10^6$							
«Реминтон Рэнд» (США) тип 1110	4000×250	3	3,2	3472	340	430		200
«ПЕРМ» (ФРГ)	448000							
	3500×128							
	15000000	9	40	180	380	355	365	150
	256000	6,3	3,1	12000	110	380	5	220
	1070×240							
	2552000	6,3	3,1	1190	560	730	51	110
	5590×464		6,5	15000	10		4	500

* На одной оси может находиться до 4 аналогичных барабанов. ** Ферритовые МГ соприкасаются через тонкий слой масла с Cu—Ni—Fe поверхностью, составляя зазор 5 *мк*. *** k — число дорожек по длине М. б.

и малое количество электронных схем управления. Недостатки — высокие механич. трения. Недостатки — высокие механич. трения, относительно большое время выборки, чувствительность к темп-ре, загрязнениям,



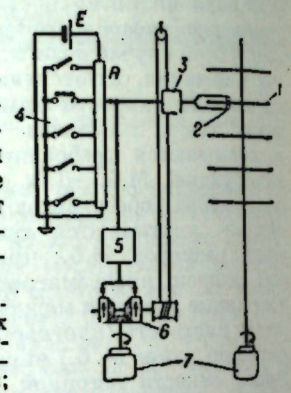
Блок-схема ЗУ на магнитном барабане: *КША* — кодовые шины адреса; *КШЧ* — кодовые шины числа.

огранич. срок службы из-за износа подшипников. В табл. даны М.б. ряда сов. и зарубежных ЭВМ. Общий вид ЗУ на М.б. дан на отдельном листе.

Лит.: Павликов А. А., Быстродействующая электронная счетная машина Академии наук СССР. Магнитное запоминающее устройство, М., 1957; Хетагуров Я. А., Запоминающие устройства на магнитном барабане, в кн.: Автоматическое управление и вычислительная техника, вып. 5, М., 1962, с. 318—55.

В. А. Гусев.

МАГНИТНЫЙ ДИСК (magnetic disc; disque magnétique; Magnetscheibe) — носитель информации в виде диска, на торцовых поверхностях к-рого имеется покрытие, обладающее магнитными св-вами; используется в ЗУ ЭВМ. Обычно М.д. представляет сочетание неск. десятков тонких дисков, насаженных на общую массивную вертик. ось, приводимую во вращение электродвигателем. Диски изготовляются из металла и из пластич. материалов. На обе стороны диска наносится ферромагнитное покрытие. Расстояние между дисками — примерно 10 *мм*, диаметр дисков 500—600 *мм*. Запись и считывание информации осуществляются механизмом выборки. Он состоит из рычага съема, укрепл. на каретке, к-рая перемещается по вертикали системой привода. Рычаг съема относительно каретки перемещается по горизонтали. На конце рычага в шарнирных подвесах укреплены две магнитные головки (МГ) с расстоянием между ними, примерно равным толщине одного диска. Механизм выборки обеспечивает доступ МГ как в любой из дисков, так и в любое место по радиусу диска, т. е. позволяет иметь произвольное образование по адресу. Часть кода адреса расшифровывается в номер диска, и управляющее напряжение с дешифратора отрабатывается приводом в вертик. движение каретки. При подходе каретки к указанному диску ее движение прекращается из-за отсутствия управляющего напряжения и положение на вертик. валу фиксируется электромагнитными, пневматич. или механич. защелками. Др. часть адреса расшифровывается в номер концентрич. дорожки, в соответствии с к-рым выдается управляющее напряжение для движения рычага съема по радиусу диска. Когда рычаг съема вводится в плоскость диска, МГ охватывает его с двух сторон. Постоянство величины зазора между вращающимся диском и головками поддерживается с помощью воздушной струи, пропускаемой через корпус МГ. По окончании выбора нужной дорожки положение рычага съема фиксируется защелками. Система блокировки исключает одноврем. движения рычага по вертикали и горизонтали. Механизм выборки перемещается с помощью двух вращающихся в разных направлениях магнитных муфт сцепления, приводимых в движение электродвигателем (рис.). Муфты сцепления соединены с обычным воротом. От ворота с помощью тонкого троса перемещается каретка. От муфт сцепления осуществляется как горизонтальное, так и вертик. движение в зависимости от положения блокировки. Муфты управляются сервосистемой; напряжения снимаются с потенциометров, механически соединенных с кареткой и рычагом съема. Нулевой потенциал на потенциометре вырабатывается дешифратором адреса. По окружности дисков можно устанавливать неск. механизмов выборки.



Принципиальная схема ЗУ на магнитных дисках: *1* — магнитные диски; *2* — магнитные головки; *3* — механизм выборки; *4* — дешифратор выбора диска с потенциометром R и опорным напряжением E; *5* — сервосистема, отрабатывающая управляющие сигналы от дешифратора номера диска; *6* — привод механизма выборки; *7* — электродвигатели.

Информация располагается на концентрич. окружностях М. д. Небольшая область диска около оси для хранения информации не используется, поскольку скорость вращения поверхности мала. Выбор конкретного места на дорожке определяется с помощью синхронизирующей дорожки. Продольная плотность записи 2—4 *имп/мм*. Если частота импульсов записи постоянна, то продольная плотность увеличивается по мере перехода на внутр. дорожки, т. к. линейная скорость уменьшается с уменьшением радиуса дорожки. МГ состоит из двух магнитных цепей — записи-считывания и стирания. Емкость М.д. ориентировочно в $D/40$ раз (D — диаметр диска в *мм*) превосходит емкость *магнитных барабанов* при условии равенства их объемов и поверхностных плотностей записи. Емкость только одного диска — ок. 1 млн. двоичных знаков. Однако время выборки М. д. составляет доли сек. из-за малых скоростей механизма выборки. Существенным путем увеличения быстродействия является установка 10 и более механизмов выборки.

М.д. находят все большее применение в качестве внешних ЗУ в универс. ЦВМ, широко используются в машинах для экономич. расчетов, где они непосредственно сочетаются с печатающими устройствами по обработке данных, выдаче справок. В ЦВМ «Рамак» (США) ЗУ на М. д. состоит из 50 дисков на общей оси, к-рая вращается со скоростью 1200 *об/мин*. Диаметр диска 610 *мм*, толщина 2,54 *мм*, расстояние между дисками 7,62 *мм*, материал диска — алюминий. На одной стороне диска 100 концентрич. дорожек, емкость каждой 4000 двоичных знаков, плотность записи на внешних дорожках 2, на внутренних 4 *имп/мм*. Т. о., общая емкость ЗУ составляет 40 млн. двоичных знаков. Максимальное время перемещения МГ для поиска адреса — не более 0,75 сек., ср. время — не более 0,5 сек. Установлено 4 механизма выборки и имеется возможность установки до 20 механизмов выборки. ЗУ подобной конструкции применяются в ЦВМ ИБМ-7070, «Рамак-650». На рис. 2 показано ЗУ на М. д. типа «Рамак-350» (ИБМ, США) на 5 млн. знаков. В США проводятся успешные эксперименты по использованию гибкого диска. Толщина диска на миларовой основе 50 *мк*, толщина магнитного покрытия 10 *мк*. При вращении диска со скоростью 2000—3000 *об/мин* он приобретает достаточную прочность и приближается к МГ, заделанной заподлицо в торцовую опорную плату, с зазором до 7 *мк*. Механизм выборки здесь отсутствует.

Несмотря на сложность конструкции, М.д. относятся к весьма перспективным ЗУ благодаря двум важнейшим хар-кам таких ЗУ: 1) большая емкость и возможность изменения ее в сторону уменьшения или увеличения за счет числа дисков; 2) возможность произвольного поиска и выдачи необходимой информации, записанной на дисках, по запросу одного или нескольких независимых каналов.

Лит.: Пирсон (Pearson R. T.), Разработка устройства магнитной записи на гибком диске, «Тр. ин-та радиоинженеров» (США), рус. пер., 1961, № 1.

А. В. Гусев.

МАГНИТНЫЙ МОДУЛЯТОР (магнитный усилитель напряжения) (magnetic modulator; modulateur magnétique; magnetischer Modulator) — реверсивный *магнитный усилитель*, предназнач. для работы в качестве первого каскада усилителя пост. тока с модуляцией и демодуляцией. М. м. позволяет надежно усиливать весьма слабые сигналы пост. тока (10^{-16}—10^{-10} *вт*), получаемые от термопар, фотоэлементов и пр. датчиков. Большинство схем М. м. наряду с преобразованием пост. напряжения в переменное дает и значит. усиление.

В зависимости от способа взаимодействия магнитных полей в сердечниках (поля сигнала управления и поля возбуждения) М. м. различают с параллельными и перпендикулярными полями. По частоте выходного напряжения М. м. могут быть с выходом на осн. частоте (когда частота выходного напряжения совпадает с частотой источника возбуждения) и на удвоенной частоте.

В качестве М. м. с выходом на осн. частоте наиболее широко применяются магнитные усилители без обратной связи по дифференциальной (рис. 1,*а*) и мостовой (рис. 1,*б*) схемам. Если сердечники тщательно подобраны, то М. м. по мостовой и дифференц. схемам пригодны для усиления входных сигналов порядка 10^{-12}—10^{-11} *вт* при изменении темп-ры окружающей среды и напряжения питания в достаточно широких пределах.

Схема модулятора с перпендикулярными полями и выходом на осн. частоте дана на рис. 2,*а*.

В отличие от схем с параллельными полями, модулятор содержит один сердечник спец. формы с двумя обмотками, между к-рыми отсутствует трансформаторная связь (рис. 2,*б*). Модулятор представляет собой перем. индуктивность L_y (включенную в цепь сигнала), к-рая периодически под воздействием однополупериодного выпрямл. тока, протекающего

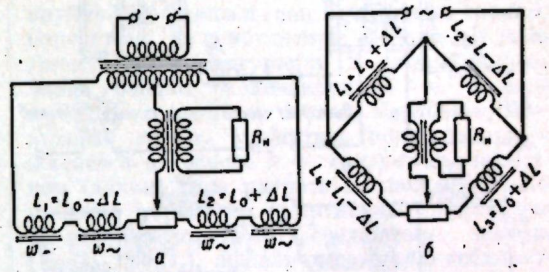


Рис. 1. Схемы цепи перем. тока магнитного модулятора с выходом на осн. частоте: *а* — дифференц. схема; *б* — мостовая схема.

по обмотке возбуждения w_1, изменяется между значениями $L_{y\,макс}$ и $L_{y\,мин}$. Благодаря этому изменяется ток в цепи управления, и на сопротивлении R_1 или на концах выходной обмотки w_2 появляется напряжение осн. частоты. Порог чувствительности модуляторов этого типа такого же порядка, как и модуляторов с параллельными полями. Коэфф. передачи М. м. с перпендикулярными полями меньше единицы

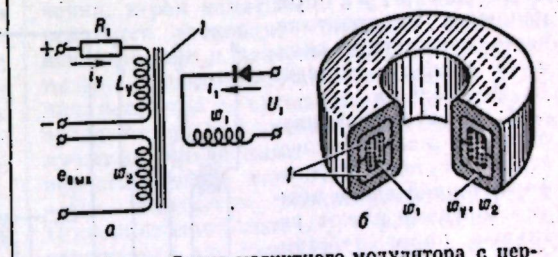


Рис. 2. *а* — Схема магнитного модулятора с перпендикулярными полями и выходом на осн. частоте; *б* — сердечник модулятора.

(0,7—0,9), однако такие М. м. имеют ряд существ. преимуществ, к числу к-рых относятся: малое запаздывание (1 период частоты питания), незначит. величина напряжения помехи на выходе при отсутствии сигнала, простота технологии изготовления.

М. м. с параллельными полями и выходом на удвоенной частоте основаны на использовании четных гармоник напряжения, к-рое появляется на обмотке управления однотактного магнитного усилителя при наличии сигнала управления. На рис. 3,*а* приведены нек-рые схемы М. м. с параллельными полями и на рис. 3,*б* две схемы модуляторов с перпендикулярными полями. В обоих случаях дроссель $Др$ препятствует прохождению токов 2-й гармоники по цепи управления, а конденсатор C блокирует прохождение тока управления по первичной обмотке тр-ра. М. м. с удвоением частоты имеют наиболее низкий порог чувствительности по сравнению с др. типами модуляторов. Предельный порог чувствительности, ограничиваемой магнитными шумами, соответствует входному сигналу порядка 10^{-19}—10^{-17} *вт*. Однако этой величины можно достигнуть лишь путем применения сложных фильтров в цепях питания и выхода. В М. м.

Состав материала	Название	Ср. коэрцитивная сила (э)	Ср. остаточная индукция (тыс. гс)	Примечание
Сплав Al, Ni, Co	Алнико	400—700	5—12	Твердые, хрупкие, неподдающиеся обработке
Сплав Cu, Ni, Co	Кунико	710	3,4	Ковкий до горячей обработки
Сплав Cu, Ni, Fe	Куниф 1	550	5	Ковкий, поддающийся обработке
Окись железа	—	280	1	Легко разрушается
Магнитные стали	—	40—240	7—10	Твердые, трудно обрабатываются резанием
Магнитный сплав	Вектолит	900	1,6	Хрупкий, слабый
Электролитич. кобальт	—	30	3,2	—
Электролитич. никель	—	7,5	3,4	—
Ферропорошки	Типа «ИЗ»	250—800	0,6—0,9	Наносятся поливом, пульверизацией, прессованием
Ферропорошки	Типа «АГФА»	100—200	0,25—0,5	»

лется от 0,4 до 1), что позволяет получить малые геометрические размеры записываемого знака. Кроме этого, М. н. характеризуется рядом механических хар-к (прочность, износоустойчивость и т. д.). С точки зрения цифровой записи наиболее существенны высокая однородность свойств по всей поверхности М. н., отсутствие посторонних включений, приводящих к потере информации.

Осн. достоинства М. н., как запоминающей среды: высокая плотность записи (известны образцы с плотностью $p=16\,000$ *зн/см*^{2}), легкий доступ к большему объему информации М. н., надежность хранения, отсутствие восстановления при считывании, а также простота физич. согласования магнитных величин с сигналами в виде электрич. импульсов, с к-рыми оперируют устройства ЭВМ. Параметры некоторых типов М. н., используемых в различных ЗУ, приведены в табл. *В. И. Исаев.*

МАГНИТНЫЙ ПУСКАТЕЛЬ (magnetic starter; demarreur magnétique; magnetischer Trigger) — электрич. аппарат, состоящий из контактора, кнопочного поста и теплового реле и предназнач. гл. обр. для дистанц. пуска, останова и защиты 3-фазных асинхр. электродвигателей с короткозамкнутым ротором (рис.).

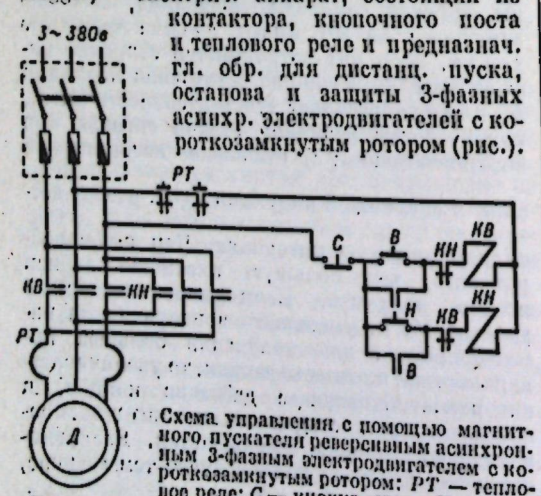


Схема управления с помощью магнитного пускателя реверсивным асинхронным 3-фазным электродвигателем с короткозамкнутым ротором: *РТ* — тепловое реле; *С* — кнопка «стоп»; *Н* — кнопка «назад»; *В* — кнопка «вперед»; *КН* — контактор «назад»; *КВ* — контактор «вперед»; *Д*—двигатель.

Номин. условия работы М. п., выпускаемых промышленностью: высота над уровнем моря — не более 1000 *м*, темп-ра ±40°С, относит. влажность — до 80%, отсутствие агрессивных сред в атмосфере, а также сильных толчков и тряски, установка аппарата в вертик. плоскости.

М. п. выполняются как нереверсивные и реверсивные — для управления электродвигателями с одним и с двумя направлениями вращения соответственно. Кроме того, выпускаются спец. М. п. для переключения обмоток многоскоростных электродвигателей. По способу защиты от влияния окружающей среды разделяются на М. п. открытого, защищенного и пылебрызгонепроницаемого исполнения (для наружной установки). Контактор М. п., как правило, имеет 3 силовых *контакта* и от 1 до 5 *блок-контактов*.

В малых М. п. (номин. ток до 10 *а*) устанавливаются контакторы с прямоходовой магнитной системой, силовые контакты к-рых разделяются межфазными перегородками. В больших М. п. (номин. ток св. 25 *а*) применяются прямоходовые или клапанные магнитные системы. Силовые контакты разделяются дугогасит. камерами с дионными пластинками, решетками или с узкими щелевыми камерами. При норм. режиме работы (пуск и останов асинхронного двигателя) электрич. износоустойчивость М. п. 3—5 (иногда до 10) млн. циклов. Номин. ток силовых контактов 6—400 *а*, номин. ток блок-контактов 6—10 *а*. Обмотка магнитной системы М. п. обычно питается перем. током. При применении добавочного сопротивления, шунтированного нормально закрытым блок-контактом, можно питать системы перем. тока пост. током. Магнитные системы с питанием пост. током иногда применяются для увеличения срока службы М. п., а также в системах бесконтактного управления, т. к. выходные усилители в этих системах дешевле и проще с выходом на пост. токе.

Контактная система М. п. обычно выполняется мостиковой с 2-кратным разрывом дуги. Иногда для увеличения срока службы М. г. мощностью от 20 до 100 *квт* употребляется 4- и 6-кратный разрыв контактов в одной фазе. С этой же целью используются контактные системы, в к-рых в каждой фазе устанавливаются два контакта — коммутирующий (размыкает раньше и отключается позже) и рабочий, обеспечивающий надежное замыкание коммутац. цепи. Материалами контактов служат Ag, сплавы Ag—Ni, металлокерамич. композиции на основе Ag; медные контакты применяются реже. Возвращается М. п. в исходное положение под действием возвратных пружин, силы веса подвижной системы или под действием обеих сил сразу. М. п. допускают работу с частотой 150—1200 *вкл/ч*, а малые М. п.—с частотой до 3000 *вкл/ч*.

Тепловое реле, встраиваемое в М. п., защищает электродвигатели от перегрузки при продолжит. режиме работы. В М. п. устанавливаются обычно два однофазных или одно двухфазное тепловые реле (с механизмом для самовозврата или без него). В них применяются компенсация изменения темп-ры окружающей среды и регулирование тока уставки в пределах ±15—25% его номин. значения. При перегрузке током 1,2—1,25 от номинального тепловое реле должно отключать пускатель не более чем за 20 мин. Самовозврат реле после отключения должен происходить не позже чем через 10 мин., а реле без самовозврата может быть включено через 1 мин. после отключения. Нагреватели тепловых реле (из нихрома) имеют номин. ток 0,2—200 *а*. В них применяются контактные механизмы мгновенного действия, управляемые нагреваемыми биметаллич. пластинками. Контакты тепловых реле отключают перем. ток 6—10 *а*. Наряду с тепловой защитой М. п. осуществляют нулевую защиту электродвигателей, предотвращая их самовключение после исчезновения питающего напряжения и его восстановления. Наибольшее применение в СССР имеют общепромышл. малые М. п. серии ПМИ, средние и большие серии ПА.

Лит.: Декабрун И. Е., Тедер Н. Р., Справочник по элементам автоматики и телемеханики, М.—Л., 1958; Рогачев Э. Б., Релейно-контакторная аппаратура, в кн.: Электрооборудование металлорежущих станков. [Сб. ст.], вып. 1, М.—Л., 1958; Харизоменов И. В., Электрическое оборудование металлорежущих станков, 2 изд., М., 1958.

Э. Б. Рогачев.

МАГНИТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ (magnetic amplifier; amplificateur magnétique; magnetischer Verstärker) — усилитель электрич. сигналов, действие к-рого основано на использовании нелинейности хар-к ферромагнитных материалов. М. у. применяются в разнообразных устройствах, начиная от точных измерит. приборов до схем автоматич. управления крупными производств. агрегатами: прокатными станами, экскаваторами и т. п. Широкое и разнообразное применение М. у. определяется рядом их достоинств: 1) большим сроком службы, высокой надежностью, простотой эксплуатации; 2) широким диапазоном усиливаемых мощностей от 10^{-13}—10^{-6} *вт* до нескольких десятков и даже сотен *квт*; 3) пост. готовностью к работе; 4) возможностью суммировать на входе несколько управляющих сигналов; 5) значительной перегрузочной способностью; 6) пожаро- и взрывобезопасностью; 7) стабильностью хар-к в процессе эксплуатации.

М. у. различают: 1) по виду статич. хар-ки — однотактные (нереверсивные) и двухтактные (реверсивные); 2) по способу осуществления обратной связи (ОС) — без ОС и с ОС (внешней, внутренней, смешанной); 3) по форме кривой выходного напряжения — с выходом на несущей частоте, на удвоенной частоте и на пост. или выпрямл. токе и т. д.; 4) по способу включения нагрузки — с последоват. и с параллельным включением нагрузки и рабочих обмоток; 5) по числу и конструкции сердечников в однотактной схеме — на усилители: с одним двухстержневым или тороид. сердечником, с двумя сердечниками, с трехстержневым и с четырехстержневым сердечником; 6) по способу осуществления смещения — со смещением пост. током, перем. током и путем шунтирования выпрямителей ОС; 7) по режиму работы — линейные (или пропорциональные) и релейные.

Простейший М. у. без ОС выполняется в виде двух одинаковых тр-ров, первичные обмотки w_p к-рых включаются последовательно с источником питания перем. напряжения U (рис. 1). Вторичные обмотки w_y включаются встречно относительно первичных обмоток для устранения трансформаторной связи между цепями, образуемыми первичными и вторичными обмотками. Усиливаемый сигнал пост. тока I_y поступает во вторичные обмотки w_y тр-ров и вследствие нелинейного характера кривой намагничивания сердечников вызывает уменьшение магнитной проницаемости сердечников и пропорциональное уменьшение индуктивности L_1 первичных обмоток.

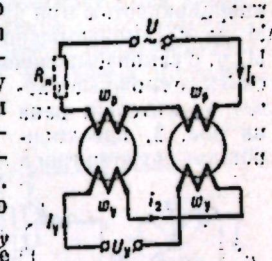


Рис. 1. Схема простейшего магнитного усилителя без обратной связи.

Устройство, осуществленное по схеме рис. 1, часто наз. дросселем насыщения или управляемым дросселем, т. к., изменяя степень насыщения его сердечников путем подмагничивания их пост. током, можно в широких пределах изменять индуктивность обмоток w_p. Нагрузка $R_н$, показанная на рис. 1 пунктиром, включается в цепи перем. тока параллельно или чаще последовательно с управляемой индуктивностью.

Токи i_1 и i_2, протекающие соответственно в первичной и вторичной обмотках тр-ров, создают магнитные поля, к-рые в течение одного полупериода перем. тока i в одном из сердечников имеют одинаковые, а в другом — противоположные направления. В результате первый сердечник насыщается, а второй остается ненасыщенным. Для ненасыщенного сердечника справедливо ур-ние амперитков обычного тр-ра:

$$i_1 w_p = i_\mu w_p + i_2 w_y, \qquad (1)$$

где i_μ — намагничивающий ток тр-ров.

При отсутствии сигнала на входе усилителя $i_2=0$ и $i_1=i_\mu$. В этом режиме ср. значение тока нагрузки имеет минимально возможное значение, равное току холостого хода тр-ра I_{xx}.

При наличии существенного по величине сигнала I_y на входе усилителя обычно можно пренебречь слагающей $i_\mu w_p$ в правой части (1) по сравнению с $i_2 w_y$. Тогда, интегрируя в пределах полупериода, в течение к-рого рассматриваемый сердечник ненасыщен, получим

$$I_н \approx \frac{w_y}{w_p} I_y, \qquad (2)$$

т. е. ток нагрузки в схеме рис. 1 определяется лишь током управления и конструктивными параметрами усилителя и не зависит от нагрузки.

Коэфф. усиления по току k_1 и по мощности k_p для простейшего М. у. (рис. 1) равны соответственно:

$$k_1 = \frac{\Delta I_1}{\Delta I_y} \approx \frac{w_y}{w_p} \quad \text{и} \quad k_p = \frac{\Delta I_1^2 R_н}{\Delta I_y^2 R_y} = \frac{w_y^2 R_н}{w_p^2 R_y},$$

где R_y — активное сопротивление обмоток w_y.

Существ. недостатком таких М. у. является их относительно высокая инерционность, к-рую обычно характеризуют величиной постоянной времени T цепи управления: $T=k_p/4\eta f$, где η — кпд цепи нагрузки, а f — частота источника питания. Для уменьшения инерционности М. у. применяют перем. ток повыш. частоты (400—10 000 *гц* и выше).

Лучшими динамич. хар-ками, т. е. меньшей инерционностью при данном k_p, обладают т. н. М. у. с самонасыщением. Простейшая схема М. у. с самонасыщением, на базе к-рой строятся более сложные схемы усилителей, дана на рис. 2, идеализиров. петля гистерезиса

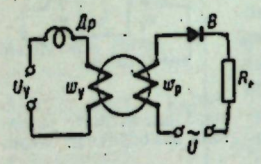


Рис. 2.

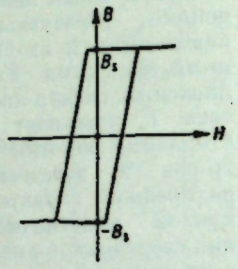


Рис. 3.

Рис. 2. Схема магнитного усилителя с самонасыщением.

Рис. 3. Идеализиров. петля гистерезиса ферромагнитного материала сердечника магнитного усилителя.

ферромагнитного сердечника М. у. — на рис. 3. Наличие выпрямителя B в цепи рабочей обмотки (обмотка $w_р$ усилителя, последовательно с к-рой включена нагрузка $R_н$) приводит к тому, что напряжение питания U приложено к этой обмотке и к нагрузке лишь в течение проводящего для выпрямителя полупериода (т. н. рабочий полупериод).

Изменение индукции в сердечнике в этот полупериод происходит только под действием напряжения питания U в соответствии с законом электромагнитной индукции $B=\frac{1}{sw_р}\int_0^T U dt$, где s — поперечное сечение сердечника. В следующий полупериод изменение индукции в сердечнике происходит только под действием управляющего напряжения $U_у$, прилож. к обмотке управления $w_у$. Этот полупериод наз. управляющим.

Для того чтобы воспрепятствовать трансформации напряжения из рабочей цепи в цепь управления, в последнюю включают либо дроссель, либо вентиль.

Изменение индукции в рабочем и управляющем полупериодах происходит во взаимнообратных направлениях. Обычно напряжение питания М. у. U выбирают такой величины, чтобы за время, равное полупериоду питающего напряжения, оно было бы способно изменить индукцию в сердечнике на $\Delta B=2B_s$: напр., из точки $-B_s$ до $+B_s$. Управляющее напряжение изменяет индукцию в обратном направлении, т. е. от $+B_s$ к $-B_s$, причем величина этого изменения пропорциональна величине сигнала. Если к началу рабочего полупериода исходная рабочая точка, характеризующая магнитное состояние сердечника, окажется не в $-B_s$, а выше, на петле гистерезиса, то в рабочем полупериоде сердечник, по закону электромагнитной индукции, насытится не в конце периода, а несколько раньше. После этого напряжение питания оказывается полностью приложенным к сопротивлению нагрузки, а ток в нагрузке скачком вырастает до $i=U_m\sin\omega t/R$. Чем больше управляющее напряжение, тем ниже по петле гистерезиса опускается рабочая точка в управляющий полупериод. В результате в рабочий полупериод сердечник насытится позднее, и к нагрузке будет приложено меньшее напряжение. При макс. управляющем напряжении по нагрузке в течение всего рабочего полупериода протекает только намагничивающий ток $I_{н\,мин}$.

Если управляющее напряжение равно нулю, то в управляющий полупериод индукция не изменяется и исходной точкой тока будет точка $+B_s$. Следовательно, в течение всего рабочего полупериода ток в нагрузке будет следовать за изменением напряжения. Диаграммы изменения индукции B в сердечнике, тока нагрузки $i_н$, тока в обмотке управления $i_у$ во времени даны на рис. 4, зависимость тока нагрузки от тока в обмотке управления для М. у. с самонасыщением — на рис. 5. Хар-ки подобного типа наз. статич. хар-ками, а участок AO — рабочим участком. М. у., обладающий статич. хар-кой, показанной на рис. 5, наз. однотактным (нереверсивным). Осн. особенность такого усилителя в том, что при изменении полярности управляющего сигнала ток в нагрузке, изменяясь по величине, остается все время однополярным.

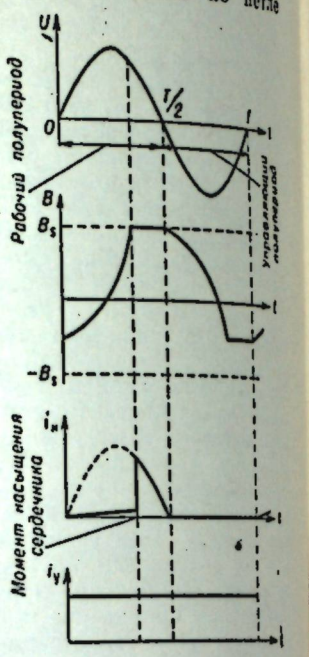


Рис. 4. Диаграммы изменения во времени индукции B, тока нагрузки $i_н$, тока управления $i_у$.

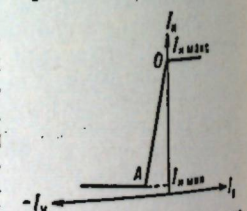


Рис. 5. Зависимость тока нагрузки от тока управления для магнитного усилителя с самонасыщением.

Схема рис. 2 служит типовым элементом для построения большинства совр. М. у. На практике для нагрузки перем. тока используется обычно схема рис. 6, а для нагрузки пост. тока — схема рис. 7, составленные, как легко видеть, из схемы рис. 2. Рабочие полупериоды двух сердечников в этих схемах сдвинуты друг относительно друга на половину периода питающего напряжения. Обмотки управления двух сердечников соединены между собой так, чтобы в цепь управления не наводилась первая гармоника питающего напряжения. Если в схеме рис. 2 ток на выходе появляется лишь в течение одного из полупериодов питающего напряжения, то в схемах рис. 6 и 7 ток появляется на выходе усилителя в течение каждого полупериода питающего напряжения.

В то время как один из сердечников находится в рабочем полупериоде и ток i от источника может протекать через его рабочую обмотку $w_р$ и через нагрузку, один из диодов блокирует рабочую обмотку $w_р$ др. сердечника и для него имеет место управляющий полупериод, т. е. его индукция изменяется под действием входного сигнала. В следующем полупериоде

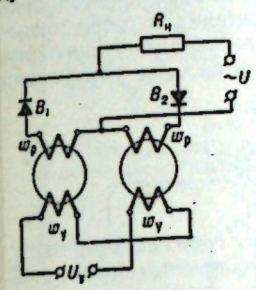


Рис. 6.

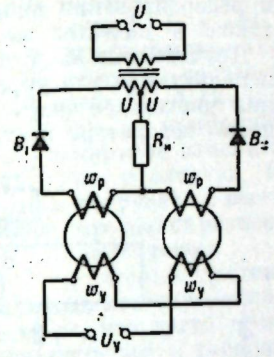


Рис. 7.

Рис. 6. Двухполупериодная схема магнитного усилителя с самонасыщением, имеющая выход переменного тока.

Рис. 7. Двухполупериодная схема магнитного усилителя с самонасыщением, имеющая выход пост. тока.

сердечники меняются ролями. В схеме рис. 6 через нагрузку протекает перем. ток той же частоты, что и питающее напряжение, а в схеме рис. 7 — выпрямл. двухполупериодный ток.

В схемах М. у. с самонасыщением при отсутствии управляющего сигнала ср. значение тока нагрузки равно макс. величине $I_{н\,макс}$. Однако иногда бывает желательно при отсутствии сигнала на входе усилителя получить миним. ток в нагрузке. Поэтому в М. у. часто предусматривается смещение или т. н. нач. подмагничивание, что равноценно включению дополнит. управляющего напряжения. Под действием напряжения смещения изменение индукции в управляющем полупериоде происходит даже при отсутствии сигнала управления. Чем больше напряжение смещения, тем ниже по петле гистерезиса переместится рабочая точка. В том случае, когда на вход подается также напряжение усиливаемого сигнала, перемещение рабочей точки в управляющий полупериод определяется суммой напряженностей, создаваемых сигналами смещения и управления (если эти сигналы вызывают изменение магнитного состояния сердечника в одном направлении) или разностью (если действие сигналов противоположно). Введение нач. подмагничивания позволяет как бы перемещать статич. хар-ку усилителя вдоль оси абсцисс в зависимости от величины тока смещения (рис. 8). Как очевидно, при изменении тока смещения $I_{см}$ ток на выходе усилителя при отсутствии управляющего сигнала $I_у$ может принимать любые значения от $I_{н\,макс}$ до $I_{н\,мин}$.

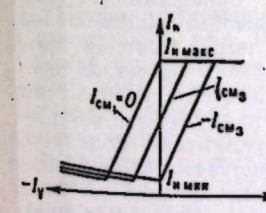


Рис. 8. Зависимость тока нагрузки от тока управления для магнитного усилителя с самонасыщением при различных значениях тока смещения.

Принципиально смещение в М. у. может осуществляться 3 способами: пост. или выпрямл. током, перем. током, а также шунтированием выпрямителей в рабочей цепи сопротивлением. Наиболее широко применяется смещение пост. током (рис. 9). Обмотки смещения обычно выполняются так же, как и обмотки управления. Последовательно с обмотками смещения для регулирования тока в них включают дополнит. регулируемое сопротивление.

Смещение выпрямл. током целесообразно осуществлять от общего источника питания

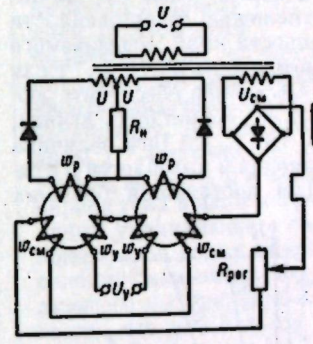


Рис. 9.

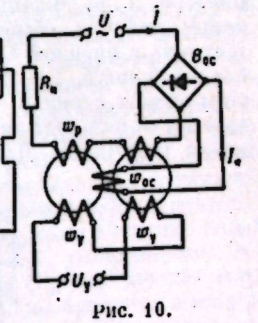


Рис. 10.

Рис. 9. Схема магнитного усилителя со смещением пост. током.

Рис. 10. Схема магнитного усилителя с внешней обратной связью.

перем. тока. В этом случае удается значит. уменьшить влияние колебаний напряжения источника питания на статич. хар-ку усилителя. Смещение перемен. током применяется лишь в двухтактных М.у., смещение шунтированием выпрямителей — гл. обр. в быстродействующих усилителях. При смещении шунтированием выпрямителей сопротивлением в управляющий полупериод, когда выпрямитель рабочей цепи заперт, по рабочей обмотке будет протекать ток. Величина его определяется величиной шунтирующего сопротивления: чем она меньше, тем больше ток и больше изменение индукции в сердечнике в управляющий полупериод при отсутствии управляющего сигнала. В рабочий полупериод шунтирующее сопротивление оказывается закороченным выпрямителем и не оказывает влияния на процессы, происходящие в усилителе. Смещение шунтированием позволяет обходиться без дополнит. обмоток на сердечниках, но приводит к искривлению статич. хар-ки, а также к снижению коэфф. усиления.

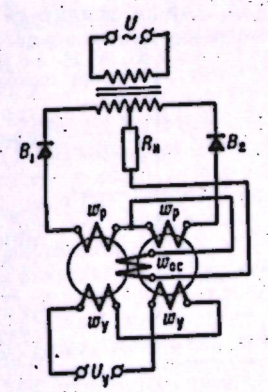


Рис. 11. Схема магнитного усилителя со смешанной обратной связью.

В М. у. с самонасыщением по рабочим обмоткам усилителя наряду с переменной протекает и пост. составляющая напряжения, к-рая дополнительно подмагничивает сердечники. Иногда по этой причине М. у. с самонасыщением наз. также М. у. с внутренней ОС. В таких М. у. большую часть подмагничивающего поля составляет именно поле ОС и лишь сравнитель-

но небольшую часть — поле управляющего сигнала. Поле ОС может быть создано, напр., и путем подачи тока нагрузки в спец. обмотку ОС w_{oc} (рис. 10). Эта разновидность ОС наз. внешней. При использовании внутренней ОС, особенно в мощных М. у. (по сравнению с М. у. с внешней ОС), существенно снижаются потери в меди, повышаются кпд и макс. мощность, определяемая из условия нагрева.

Важным показателем, характеризующим интенсивность ОС, является коэфф. ОС магнитного усилителя, к-рый в общем случае определяется как отношение напряженности поля ОС к напряженности поля, создаваемого током рабочих обмоток $k_{oc}=H_{oc}/Hw_p$. Если в схемах с внешней ОС можно обеспечить любое значение k_{oc}, т. к. w_{oc} может быть любым, то в схемах с внутр. ОС $k_{oc}<1$ (его величина зависит от качества диодов и колеблется в пределах 0,6—0,85). Для достижения больших

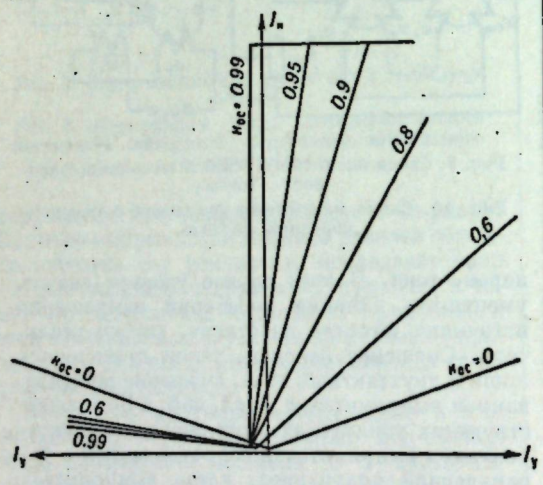


Рис. 12. Статич. хар-ки магнитного усилителя при различных значениях k_{oc}.

значений k_{oc} в схемах с внутр. ОС дополнительно вводится обмотка ОС (рис. 11). Поскольку в этом случае в усилителе действует как внутренняя, так и внешняя ОС, то эту схему часто наз. схемой со смешанной ОС. Статич. хар-ки усилителя при различных значениях k_{oc} даны на рис. 12.

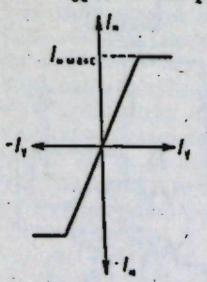


Рис. 13. Статич. характеристика двухтактного магнитного усилителя.

Динамич. свойства М. у. с самонасыщением характеризуются постоянной времени

$$T=w_y k_u/2\eta w_p f,$$

где коэффициент усиления по напряжению $k_u=\Delta U_н/\Delta U_y$.

Двухтактным М. у. наз. усилитель, обладающий статич. хар-кой, при к-рой изменение полярности управляющего сигнала вызывает изменение полярности выходного напряжения или изменение фазы выходного напряжения на 180° (рис. 13).

Двухтактные схемы нередко применяют для повышения стабильности хар-к усилителя или для снижения тока холостого хода $I_{н\,мин}$ и повышения коэфф. кратности тока нагрузки $I_{н\,макс}/I_{н\,мин}$ даже в тех случаях, когда и не требуется изменять фазу или полярность выходного напряжения.

Двухтактные М. у. могут быть выполнены с ОС и без нее, а также по спец. быстродействующим схемам (см. *Магнитный усилитель быстродействующий*).

Двухтактные М. у. с выходом на несущей частоте применяются гл. обр. для управления и реверсирования двигателей перем. тока, а также в качестве *магнитных модуляторов*.

Двухтактные М. у. с выходом на пост. токе используются для управления и реверсирования двигателей пост. тока, для управления полем генератора пост. тока, для управления

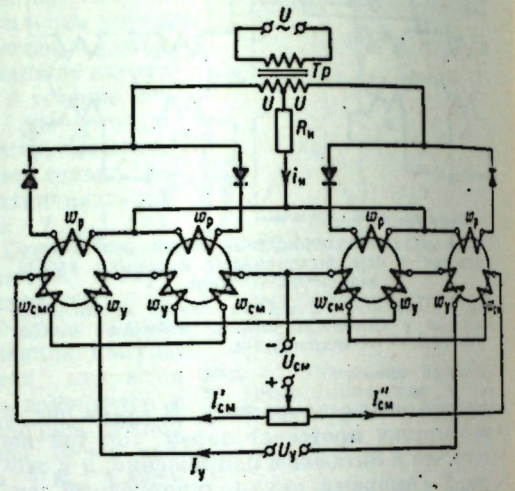


Рис. 14. Дифференц. схема двухтактного магнитного усилителя.

поляризов. электромагнитами и реле, муфтами и т. д. Простейшие двухтактные М. у. обычно выполняются путем соответствующего соединения двух однотактных усилителей по дифференц. схеме (рис. 14). Оба усилителя в этой схеме питаются через тр-р Tp с двумя одинаковыми вторичными обмотками. Токи смещения $I'_{см}$ и $I''_{см}$, поступающие в обмотки $w_{см}$, создают нач. подмагничивающее поле. Перем. сопротивление $R_{см}$ служит для балансирования (установки нуля) усилителя при отсутствии сигнала на его входе. Ток усиливаемого сигнала I_y поступает в обмотки w_y и создает магнитное поле, совпадающее по направлению с полем смещения в одной паре сердечников и имеющее противоположное направление в др. паре. Поэтому ток I_1 на выходе одного усилителя растет, а ток I_2 на выходе другого усилителя уменьшается. Благодаря тому, что в нагрузке эти токи вычитаются, на выходе усилителя появляется ток нагрузки, мгнов. значение к-рого равно $i_н=i_1-i_2$. При отсутствии сигнала на входе усилителя $i_1=i_2$ и ток нагрузки равен нулю. При изменении полярности управляющего сигнала ток i_1 на выходе первого усилителя начинает уменьшаться, а у второго ток i_2 возрастает. При этом результирующий ток $i_н$ изменит свою фазу на 180°.

На рис. 15 дана схема двухтактного М. у. с выходом на перем. токе, т. н. двойная мостовая схема. Она построена на четырех сердечниках, на каждом из к-рых намотано по две рабочих обмотки (*а* и *б*, индекс у обмотки обозначает номер сердечника), включенных в противоположные плечи моста последовательно с выпрямителями. Несмотря на внешнюю

сложность, эта схема по существу состоит из таких же однотактных усилителей, как и схема двухтактного М. у. дифференц. типа. При одной полярности управляющего напряжения возникает увеличение тока в рабочих обмотках сердечников *I* и *II* и уменьшение—в обмотках сердечников *III* и *IV*. При др. полярности картина изменится на обратную. По нагрузке всегда протекает разность этих токов.

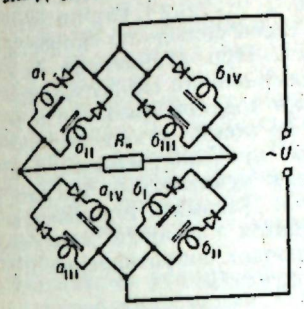


Рис. 15. Схема мостового двухтактного магнитного усилителя.

Осн. достоинство двухтактного усилителя мостового типа—отсутствие питающего тр-ра, что часто позволяет существенно уменьшить вес и габариты установки.

Лит.: Розенблат М. А., Магнитные усилители, 3 изд., [т.] 1—2, М., 1960; Сторм Г. Ф., Магнитные усилители, пер. с англ., М., 1957; Боярченков М. А., Шнияпский А. В., Магнитные усилители, М.—Л., 1960; Аттура Г., Магнитные усилители, пер. с англ., М.—Л., 1963.

М. А. Боярченков.

МАГНИТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ БЫСТРОДЕЙСТВУЮЩИЙ (high-speed magnetic amplifier; amplificateur magnétique rapide; schnellwirkender magnetischer Verstärker) — магнитный усилитель, переходный процесс в к-ром заканчивается в течение части периода питающего напряжения. Это происходит благодаря тому, что изменение потока сердечника, определяющее величину выходного напряжения, зависит только от величины напряжения сигнала в последний управляющий полупериод и не зависит от процессов, происходящих в рабочей цепи усилителя, и от предыдущего состояния сердечников. К концу рабочего полупериода (в схемах с независимым действием рабочей и управляющих цепей) рабочий сердечник обязательно насыщается и «забывает» обо всех процессах, к-рые происходили в нем раньше, либо в конце каждого полупериода насыщаются оба сердечника (в схемах, где нет разделения на рабочий и управляющий полупериоды).

Коэфф. усиления (КУ) по мощности М. у. б. относительно мал. Величина его сонзмерима с коэфф. усиления *магнитных усилителей* обычного типа, спроектированных на время переходного процесса порядка периода питающего напряжения. Поэтому М. у. б. не могут конкурировать с обычными магнитными усилителями там, где надо получить большой КУ в одном каскаде. Они имеют определ. преимущества там, где требуется быстродействие и допустимы небольшие КУ или многокаскадное включение, позволяющее получать высокий КУ при малом запаздывании.

Типичная схема М. у. б. дана на рис. 1. В цепь управления включен дополнит. источник перем. напряжения U', наз. опорным. Наличие двух источников перем. напряжения U и U', а также выпрямителей позволяет разделить во времени действие рабочей и управляющей цепей схемы. В рабочем полупериоде этот усилитель функционирует аналогично обычному магнитному усилителю.

В рабочий полупериод напряжение U' запирает выпрямитель B_y, и ток по цепи управления не протекает, т. к. напряжение, трансформируемое из рабочей цепи, меньше напряжения питания цепи управления и не может открыть выпрямитель B_y. В управляющий полупериод под действием напряжения U' выпрямитель B_y открывается, а выпрямитель B_p запирается напряжением U. При этом по рабочей цепи ток не протекает, а напряжение питания цепи управления начинает размагничивать сердечник. Если управляющий сигнал отсутствует, то при правильном выборе величины U' индукция в сердечнике изменяется от $+B_s$ до $-B_s$, и в следующий рабочий полупериод тока в цепи нагрузки не будет. При наличии управляющего сигнала U_y, противоположного по знаку опорному напряжению U', величина изменения индукции в течение управляющего полупериода ΔB_y уменьшается. Очевидно, что чем больше U_y, тем меньше изменение ΔB_y, т. е. тем больше будет ток в нагрузке в рабочий полупериод. Выходной ток достигает установившегося значения не позднее, чем через период после изменения управляющего сигнала.

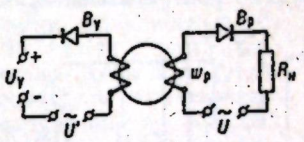


Рис. 1. Схема быстродействующего магнитного усилителя.

На базе схемы рис. 1 могут быть построены более сложные схемы М. у. б. На рис. 2 дана двухполупериодная схема М. у. б., представляющая собой сумму двух однополупериодных схем. Их рабочие и управляющие полупериоды смещены во времени на половину периода питающего напряжения. Схема рис. 2 может управляться сигналами пост. выпрям. и перем. напряжения.

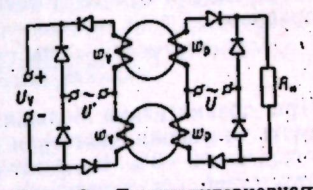


Рис. 2. Двухполупериодная схема быстродействующего магнитного усилителя.

Лит.: Розенблат М. А., Магнитные усилители, 3 изд., [т.] 1—2, М., 1960; Лиинман Р. А., Негневицкий И. Б., Быстродействующие магнитные и магнитно-полупроводниковые усилители, М.—Л., 1960; Боярченков М. А., Васильева Н. П., Быстродействующие магнитные усилители, М.—Л., 1958.

М. А. Боярченков.

МАГНИТНЫМИ УСИЛИТЕЛЯМИ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ (magnetic amplifier electric drive control; commande de moteurs électriques par amplificateurs magnétiques; Steuerung des elektrischen Getriebes mit Magnetverstärkern) — регулирование скорости двигателей пост. и перем. тока с помощью однофазных и трехфазных магнитных усилителей с выходом на пост. токе. В нереверсивной схеме управления двигателем пост. тока с однофазным *магнитным усилителем* (рис. 1,*а*) при увеличении тока в обмотке управления W_y магнитного усилителя растет среднее напряжение на его выходе и повышается скорость вращения двигателя. Рабочая точка усилителя при отсутствии сигнала управления устанавливается обмоткой смещения $W_{см}$. В зависимости от момента нагрузки и скорости вращения двигателя (рис. 1,*б*) ток в цепи якоря протекает либо в течение всего

периода (режим непрерывных токов), либо в течение части периода (режим прерывистых токов). В зоне прерывистых токов эквивалентное сопротивление цепи якоря $R_я$ велико, и механич. хар-ки двигателя получаются мягкими. Для повышения жесткости механич.

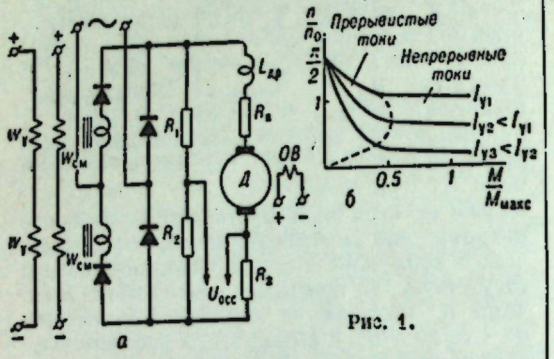


Рис. 1.

хар-ки и расширения зоны непрерывных токов в цепь якоря двигателя включают дроссель $L_{др}$.

Если подобрать величины дополнит. элементов, так чтобы при $n=0$ $\frac{R_1}{R_2}=\frac{R_{я}}{R_3}$, то выходное напряжение $U_{осс}$ будет пропорциональным эдс двигателя E, а следовательно его скорости вращения:

$$U_{осс}=\frac{ER_3}{R_{я}+R_3}=cn.$$

При сравнительно больших нагрузках скорость вращения двигателя поддерживается с точностью 2—3%. Недостаток схемы рис. 1,*а*— отсутствие рекуперативного режима, что отрицательно сказывается на динамич. св-вах электропривода.

Для нереверсивного управления двигателями пост. тока большой мощности применяются

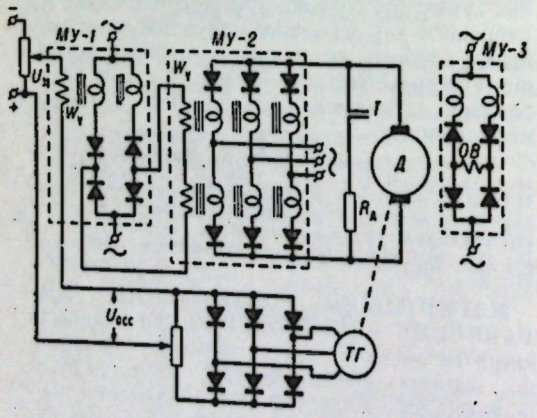


Рис. 2.

многокаскадные однотактные магнитные усилители. При мощности двигателя свыше 1 *квт* (до 150—200 *квт*) выходные каскады усилителей выполняются по трехфазной схеме, а предварительные — по однофазной. В схеме управления двигателем пост. тока с двухкаскадным магнитным усилителем (рис. 2) задающее напряжение $U_з$ сравнивается с напряжением обратной связи по скорости $U_{осс}$, к-рое снимается с выхода трехфазного тахогенератора *ТГ* с выпрямителем. Разность напряжений подается на обмотку управления $W_у$ магнитного усилителя *МУ-1*. На выходе *МУ-1* включена обмотка управления трехфазного магнитного усилителя *МУ-2*. Усилители *МУ-1* и *МУ-2* имеют обмотки смещения, не показанные на рис. 2. Механич. хар-ки двигателя в схеме с обратной связью по скорости получаются жесткими. При стабилизир. источнике задающего напряжения скорость вращения двигателя может поддерживаться с точностью до долей %; ее можно также регулировать в определенных пределах, изменяя ток возбуждения двигателя однотактным магнитным усилителем *МУ-3*. Динамич. торможение двигателя осуществляется контактом контактора *Т*, к-рый подключает сопротивление $R_т$ на зажимы якоря двигателя.

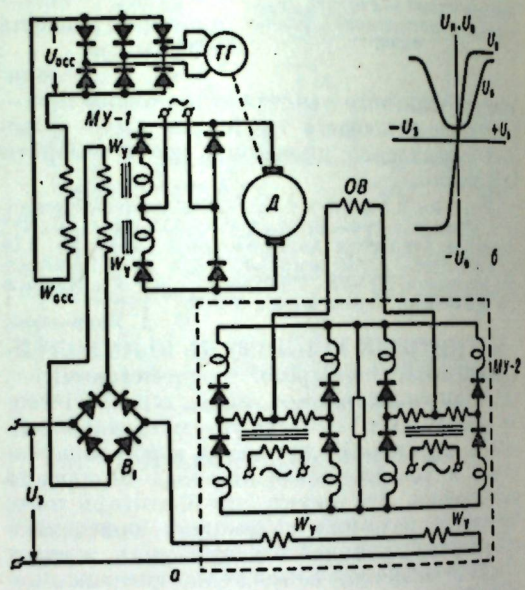


Рис. 3.

Для реверсирования двигателя можно применить двухтактные магнитные усилители, полярность напряжения на выходе которых определяется полярностью управляющего сигнала; кпд двухтактных магнитных усилителей невысок, поэтому такие схемы пригодны только для приводов мощностью до сотен *вт* (см. *Микропривод постоянного тока*). Возможно также реверсирование двигателя постоянного тока изменением направления тока возбуждения при неизменной полярности напряжения на зажимах якоря двигателя. В такой схеме (рис. 3,*а*) цепь якоря питается от однотактного магнитного усилителя с внутр. обратной связью, а обмотка возбуждения двигателя *ОВ* — от двухтактного магнитного усилителя. Задающее напряжение $U_з$ подается одновременно на обмотки управления $W_у$ однотактного и двухтактного магнитных усилителей. Чтобы направление тока в обмотке $W_у$ однотактного магнитного усилителя *МУ-1* не зависело от полярности управляющего сигнала, обмотка выключается через выпрямительный мост B_1. Двухтактный магнитный усилитель *МУ-2*, установленный в цепи возбуждения, имеет большой коэфф. усиления. Это обеспечивает, даже при малых сигналах управления, макс. напряжение возбуждения $U_в$ и полный поток двигателя (рис. 3,*б*). Однотактный магнитный усилитель цепи якоря имеет обмотку смещения (не показана на рис. 3,*а*), ток в к-рой выбирается так, чтобы

зависимость напряжения на зажимах якоря $U_я$ от управляющего напряжения $U_з$ имела характерную нелинейность при малых сигналах. В этом случае при реверсировании двигателя, когда меняется знак потока, напряжение на зажимах якоря мало и ток двигателя невелик. Скорость вращения двигателя регулируется за счет изменения напряжения якоря $U_я$, т. е. тока управления однотактного усилителя. Скорость вращения двигателя точно поддерживается отрицат. обратной связью по скорости вращения, к-рая снимается с трохфазного тахогенератора.

Магнитные усилители используются также для управления асинхр. двигателями. Т. к. кпд двигателя при регулировании скорости $\eta=1-S$, где S — скольжение, то применение магнитных усилителей ограничивается приводами малой мощности (см. *Микропривод переменного тока*) или приводами, кратковременно работающими при пониж. скоростях вращения.

Лит.: Розенблат М. А., Магнитные усилители, 3 изд., т. 1—2, М., 1960; Бояршенков М.А. и Васильева Н. П., Быстродействующие магнитные усилители, М.—Л., 1958; Winkler H., Ein neues Typenprogramm von transduktorgeregelten Antrieben für 2,8 bis 187 kw Gleichstromleistung, «AEG Mitteilungen», 1959, Jg. 49, H. 10 11, S. 530.

С. М. Домашицкий.

МАГНИТОМЕТР (magnetometer; magnétomètre; Magnetometer) — прибор для измерения составляющих магнитной индукции или напряженности пост. или медленно меняющегося магнитного поля в неферромагнитной среде. М. применяются для исследования магнитного поля Земли, для обнаружения залежей полезных ископаемых, затонувших кораблей, для измерения магнитных моментов образцов горных пород и др. Измеряемая индукция для большинства практически применяемых М. лежит в пределах от 10^{-4} до 10^{-9} тесла (*т.л*). Те же, что и в М., принцип. схемы и воспринимающие элементы используют в автоматич. устройствах для обнаружения посторонних ферромагнитных включений в древесине, зерне, муке, угле и др. неферромагнитных материалах, в магнитных миноискателях, дистанционных компасах и др. Из зависящих от магнитного поля физич. явлений (см. *Магнитные измерения*) в современных М. используются: 1) механич. действие поля на пост. магнит, 2) механич. действие поля на проводник с электрич. током, 3) наведение эдс в неподвижной обмотке за счет естественных изменений измеряемого поля, 4) наведение эдс в обмотке за счет принудит. механич. модуляции потокосцепления обмотки, 5) явления, обусловленные нелинейностью магнитных хар-к ферромагнитных материалов, 6) ядерно-прецессионные явления, 7) магнитооптич. явления, 8) действие магнитного поля на носители тока в проводнике или полупроводнике. Помимо этого, делались попытки применить: 9) действие магнитного поля на свободное движение носителей электрич. зарядов в вакууме, 10) магнитострикционные явления.

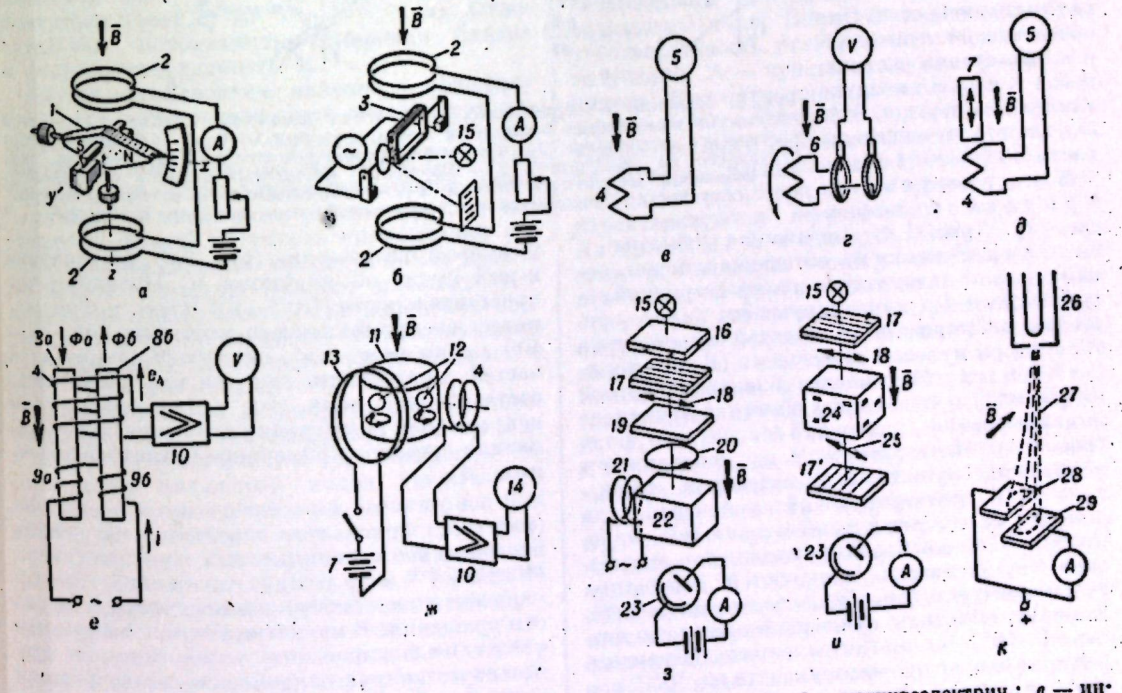


Рис. 1. Упрощенные принцип. схемы магнитометров: *а* — магнитомеханич.; *б* — магнитоэлектрич.; *в* — индукционного (с неподвижной обмоткой); *г* — генераторного; *д* — магнитомодуляционного; *е* — магнитонасыщенного; *ж* — ядерно-прецессионного; *з* — магнитооптич. (с оптич. перекачиванием атомов); *и* — магнитооптического (с вращением плоскости поляризации); *к* — электронного; *1* — пост. магнит; *2* — компенсац. обмотка; *3* — рамка с обмоткой; *4* — неподвижная измерит. обмотка; *5* — измеритель интеграла эдс по времени (веберметр, флюксметр); *6* — вращающаяся или колеблющаяся измерит. обмотка; *7* — подвижный сердечник; *8а*, *8б* — неподвижные сердечники; *9а*, *9б* — обмотки возбуждения; *10* — усилитель; *11* — рабочее тело; *12* — поляризованные ядра, прецессирующие в измеряемом поле; *13* — поляризующая обмотка; *14* — измеритель частоты; *15* — источник света; *16* — светофильтр; *17* — поляроид (или николь); *18* — плоско-поляризованный свет; *19* — пластинка в четверть волны; *20* — свет с круговой поляризацией; *21* — обмотка для создания радиочастотного поля, разрушающего ориентировку атомов; *22* — газ или пар с ориентируемыми светом атомами; *23* — фотоэлемент; *24* — тело, обладающее магнитным вращением плоскости поляризации света; *25* — свет с повернутой плоскостью поляризации; *26* — источник пучка электронов (электронная пушка); *27* — электронный пучок; *28* — экранирующий электрод; *29* — коллекторный электрод.

В магнитомеханических М. (рис. 1,*а*) на пост. магнит *1* в магнитном поле действует вращающий момент относительно неподвижной оси *y*:

$$M_y = p_x B_z / \mu_0 \ (дж),$$

где p_x — магнитный момент магнита (в вебер-метрах), направление к-рого принято за ось X, B_z — составляющая магнитной индукции внешнего поля (в тесла), перпендикулярная оси X и оси Y, μ_0 — магнитная пост. ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7}$ *гн/м*). Непосредств. отсчетом B определяется по моменту M_y, измеряемому по упругой деформации пружины или крутильной нити или по отклонению неуравновешенной подвижной части или по влиянию этого момента на период свободных колебаний магнита. Для измерения H и B (в неферромагнитной среде) компенсац. методом М. снабжают стационарными обмотками *2*, направление и величину тока в к-рых подбирают так, чтобы индукция результирующего поля стала равной нулю. Измеряемую величину B или H определяют, умножая ток на постоянную обмоток. Измерения компенсац. методом более точны и менее продолжительны. Магнитомеханич. М. появились первыми и имеются во многих разновидностях. Они обеспечивают абсолютные измерения магнитного поля в воздухе с погрешностью до 0,02% при порога чувствительности 10^{-7}—10^{-9} *тл*.

В магнитоэлектрическом компенсац. М. (рис. 1,*б*) подвижная обмотка в виде легкой рамки *3*, обтекаемая перем. током, служит индикатором нуля измеряемой составляющей B_z результирующего поля, переставая вибрировать с частотой перем. тока только при нулевом ее значении. В индукционных М. явление электромагнитной индукции в неподвижных обмотках применено для измерения изменений магнитного поля (рис. 1,*в*). Интегратором *5* эдс, наводимой в обмотке *4*, служит магнитоэлектрич. флюксметр или интегрирующий усилитель, или цепочка из сопротивлений и емкостей. Однократные скачкообразные изменения магнитного поля иногда измеряются баллистич. гальванометром (см. *Баллистический метод*). Измерит. обмотка с суммарной площадью витков ок. 10^6 *м*^{2} с магнитоэлектрич. флюксметром дает порог чувствительности ок. 10^{-11} *тл*, интегрирующий фотоэлектрич. усилитель — до 10^{-13} *тл*.

Для измерения индукц. методом пост. магнитного поля нужно преобразовать измеряемую величину в пропорц. ей амплитуду перем. потокосцепления измерит. обмотки. В генераторных М. (рис. 1,*г*) это достигается вращающимися или колеблющимися измерит. обмотками *6*, а в магнитомодуляционных М. (рис. 1,*д*) — подвижными ферромагнитными сердечниками *7*, роторозамкнутыми обмотками, сверхпроводящими экранами. Порог чувствительности таких М. ок. 10^{-8} *тл*.

Широко применяются магнитонасыщенные М., близкие по принципу действия к *магнитным усилителям*. Воспринимающий элемент такого М. (магнитонасыщенный датчик, феррозонд) состоит из одного или группы разомкнутых сердечников из магнитомягкого материала с размещенными на них обмотками. В очень распространенной конструкции (рис. 1,*е*) в отсутствие измеряемого внешнего поля B изменения магнитных потоков Φ_a и $\Phi_б$ в сердечниках тождественны и в измерительной обмотке *4* не наводится эдс (рис. 2,*а*). Внешнее поле B нарушает симметрию изменений магнитного состояния сердечников *8а* и *8б* и в обмотке *4* возникают знакопеременные

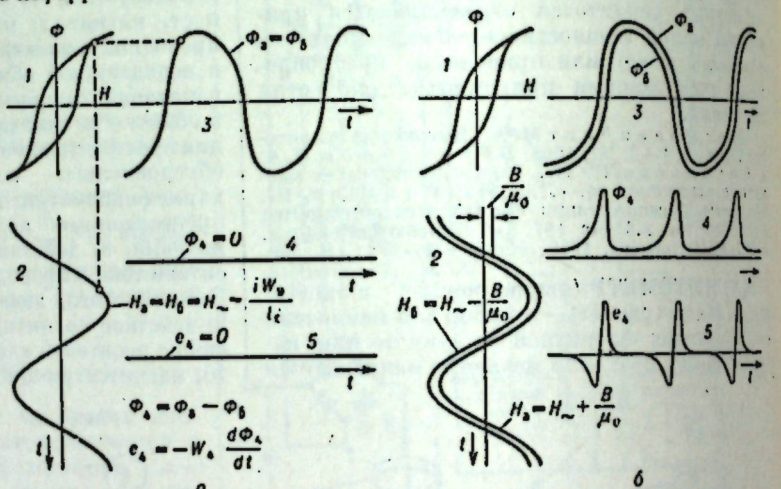


Рис. 2. Явления в сердечниках и обмотках магнитометра рис. 1, *е*: *а* — в отсутствие измеряемого поля (при $B=0$); *б* — при $B \neq 0$; *1* — динамич. петля гистерезиса сердечника; *2* — изменение напряженности магнитного поля, действующего на сердечники; *3* — изменение магнитных потоков сердечников. *4* — изменение магнитного потока Φ_4, сцепляющегося с витками измерит. обмотки; *5* — изменение эдс, наводимой этим потоком в обмотке.

импульсы напряжения (рис. 2,*б*), по величине к-рых судят об индукции B. Низкий порог чувствительности (10^{-9}—10^{-10} *тл*), малые размеры воспринимающего элемента (от 30—100 *мм* до неск. *мм*), отсутствие движущихся частей, пригодность как для измерения пост. составляющей поля, так и для практически непрерывной регистрации его изменений обусловили широкое применение магнитонасыщенных М.

В ядерно-прецессионных М. (рис. 1,*ж*) используется действие магнитного поля на ядра атомов нек-рых изотопов (напр., H^1, He^3, P^{31} и др.). Ядро такого атома можно уподобить гироскопу, намагниченному вдоль оси вращения. В магнитном поле, образующем угол с осью гироскопа, такой гироскоп прецессирует вокруг направления поля. Угловая скорость прецессии $\omega = \frac{\gamma}{\mu_0} B$ не зависит от угла между осью гироскопа и направлением поля. Коэфф. γ/μ_0, зависящий от отношения магнитного и кинетич. моментов гироскопа, для ядер атомов каждого изотопа постоянен с точностью до долей %. У обычно применяемых ядер H^1 $\gamma/\mu_0 = 2{,}6751 \cdot 10^8$ *сек*$^{-1} \cdot$*тл*$^{-1}$. Для обнаружения прецессии ядер их предварительно ориентируют либо непосредственно (действуя на них вспомогат. сильным магнитным полем или перем. полем с частотой, равной частоте прецессии $f_n = \omega/2\pi$), либо через посредство электронных оболочек атомов (двойной электронно-ядерный резонанс, явление Оверхаузера). После такой ориентировки синхронно прецессирующие ядра создают макроскопич. вращающееся магнитное поле, скорость вращения к-рого определяют по частоте напряжения, наводимого им в измерит. обмотке *4*. Порог чувствительности ядерных М.— ок. 10^{-9} *тл*. Погрешность относит. измерений определяется в основном погрешностями измерения f_n, к-рые могут быть сделаны менее 10^{-4} %. Погрешность абс. измерений не может быть менее погрешности определения γ/μ_0, доведенной в 1962 до $2 \cdot 10^{-3}$ %. Ядерные М. малопригодны для измерений в поле с $B < 10^{-5}$ *тл*.

В магнитооптических М. используется прецессия в магнитном поле поляризованных атомов щелочных металлов или газообразного гелия в его метастабильном состоянии (ортогелий) и т. п. (рис. 1,*з*). Ориентировка атомов по полю или против него возникает при резонансном поглощении циркулярно-поляризованного света (оптич. перекачивание атомов). Ориентировка разрушается под действием перем. электромагнитного поля с частотой f, равной частоте прецессии атомов в измеряемом магнитном поле. При этом увеличивается резонансное поглощение «перекачивающего» света. Индукция измеряемого поля определяется по частоте f электромагнитного поля, при к-рой поглощение максимально. Такие М. обладают порогом чувствительности 10^{-9}—10^{-11} *тл* и пригодны для измерения полей от 10^{-7} до $5 \cdot 10^{-3}$ *тл*. Относительная погрешность измерения близка к погрешности ядерного М.

Другое магнитооптич. явление — вращение плоскости поляризации света в магнитном поле (эффект Фарадея) — применено в М. для измерения полей ок. 10 *тл* (рис. 1,*и*). При прохождении плоско-поляризованного света параллельно магнитному полю через стекло (тяжелый флинт) плоскость поляризации поворачивается на угол, пропорц. длине пути и магнитной индукции. Поворот плоскости поляризации обнаруживается по изменению светового потока, прошедшего через анализатор *17'*. Достигнутый порог чувствительности -10^{-2} *тл*, возможный -10^{-4} *тл*.

Измерение очень неоднородных магнитных полей, полей в узких зазорах и т. п. гальваномагнитными М. основано на отклонении магнитным полем движущихся поперек него носителей тока (электронов или дырок) в проводнике или полупроводнике, проявляющемся в возникновении поперечной эдс (см. *Датчик эдс Холла*) или в изменении сопротивления (магниторезистивные преобразователи). Изменение сопротивления вследствие квадратичной зависимости выходного сигнала от индукции пригодно обычно только для измерения сильных полей. В электронных М. используется отклонение магнитным полем движущихся в вакууме электронов. При изменении измеряемого магнитного поля меняется кривизна траекторий электронов, что приводит к изменению тока коллекторного электрода *29* (рис. 1,*к*). Практически достигнут порог чувствительности 10^{-8} *тл*, но расчетам можно достичь 10^{-11} *тл*.

Лит.: Яновский Б. М., Земной магнетизм, 2 изд., М., 1953, с. 298, 324, 407, 411, 450, 574; Кифер И. И. и Пантюшин В. С., Испытания ферромагнитных материалов (Магнитные измерения), М.—Л., 1962; Жузе В. П., Регель А. Р., Технические применения эффекта Холла, Л., 1957 (Сер. Полупроводники, вып. 11); Розенблат М. А., Магнитные усилители, 3 изд., т. 1—2, М., 1960; Филипович Б. И., Современные приборы для измерения слабых магнитных полей, «Э-во», 1948, № 5, с. 85—87; Скроцкий Г. В., Изюмова Т. Г., Оптическая ориентация атомов и ее применения, «УФН», 1961, т. 73, № 3, с. 423—70. *Б. И. Филипович.*

МАГНИТОСТРИКЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ (magnetostrictive materials; matériaux à magnétostriction; magnetostriktive Materialien, magnetostriktive Werkstoffe) — магнитомягкие материалы, обладающие свойством изменять форму и размеры при намагничивании и применяемые для изготовления магнитострикц. преобразователей. М. м. оцениваются по величине их хар-к, определяющих основные св-ва преобразователей: чувствительность в режиме излучения и приема, кпд и др. Важнейшие хар-ки М. м. связывают механич. и магнитные параметры состояния вещества: 1) коэфф. магнито-механич. связи k — отношение преобразованной механич. энергии к магнитной при работе магнитострикц. излучателя на НЧ без учета потерь (или, соответственно, отношение преобразованной магнитной энергии к механич. при работе приемника в тех же условиях); 2) магнитострикц. постоянная $a = \left(\frac{\partial \sigma}{\partial B}\right)_\varepsilon$; 3) магнитострикц. постоянная чувствительности $\Lambda = \left(\frac{\partial B}{\partial \sigma}\right)_H$; здесь σ — механическое напряжение, B — магнитная индукция, индексы ε и H обозначают неизменность деформации и напряженности магнитного поля. Величина a характеризует чувствительность преобразователей в режиме излучения, Λ — чувствительность в режиме приема. Кпд определяется величиной k и потерями в М. м. Механич. потери характеризуются механич. добротностью, потери на токи Фуко — удельным электрическим сопротивлением ϱ, потери на гистерезис косвенно характеризуются коэрцитивной силой H_c. Плотность М. м. d и модуль Юнга E определяют резонансную частоту преобразователей при заданной форме сердечника. От механич. прочности, магнитострикции насыщения λ_S, индукции насыщения B_S зависит предельная интенсивность магнитострикц. излучателей. Важной хар-кой М. м. является также обратимая магнитная проницаемость μ. Величины K, a, μ, E, Λ связаны соотношениями: $K^2 = 4\pi a^2 \mu_t / E_B$, $\Lambda = 4\pi a \mu_t / E_H$ и существенно зависят от величины пост. поля подмагничивания H_0 и, следовательно, индукции B_0. Значение H_0, соответствующее максимуму K, обычно называют оптимальным $H_{опт}$. Основные хар-ки важнейших М. м. приведены в таблице (см. табл. на стр. 238). Для величины μ даны два значения: начальное — μ_0 и при остаточном намагничивании — μ_r; K и a — при оптимальном подмагничивании и Λ_r — при остаточном намагничивании.

К М. м. могут предъявляться также требования коррозионной стойкости (для преобразователей, помещаемых в воде или в химически активных средах); пластичности, позволяющей изготовлять тонкие листы из М. м. (что необходимо для снижения потерь на вихревые токи); малой зависимости параметров от темп-ры; высокой темп-ры Кюри для работы в широком температурном интервале и, наконец, дешевизны, простоты технологии, недо-

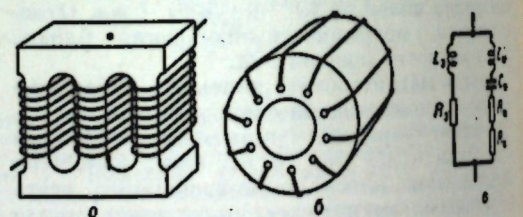
Материал	Химический состав	d ($г/см^3$)	E ($дин/см^2$)	B_s (гс)	λ_s
Никель	99,9% Ni	8,9	$(1,6-2,1)\cdot10^{12}$	6000	$-(30-35)\cdot10^{-6}$
Пермендюр К49Ф2	49% Co, 2% V_o, 49% Fe	8,1	$2,2\cdot10^{12}$	24000	$+(60-70)\cdot10^{-6}$
Пермендюр К65	65% Co, 35% Fe	8,25	$2,2\cdot10^{12}$	22000	$+90\cdot10^{-6}$
Алфер Ю-14	13,8% Al, 86,2% Fe	6,65	$(1,4-1,8)\cdot10^{12}$	13400	$+50\cdot10^{-6}$
Алфер Ю-12	12,5% Al, 87,5% Fe	6,75	$1,5\cdot10^{12}$	15000	$+35\cdot10^{-6}$
Пермаллой 40	40% Ni, 60% Fe	8,2	$(1,3-1,4)\cdot10^{12}$	15000	$+25\cdot10^{-6}$
Гиперко	35% Co, 0,45% Cr_o, 64,55% Fe	8,1	$2,1\cdot10^{12}$	24200	$+55\cdot10^{-6}$
Феррит никеля	$NiO\cdot Fe_2O_3$	5,2	$1,75\cdot10^{12}$	3100	$-26\cdot10^{-6}$
Феррит никеля с присадкой кобальта	$NiO_{0,93}\cdot CoO_{0,07}\cdot Fe_2O_3$	5,21	$1,75\cdot10^{12}$	3300	$-26\cdot10^{-6}$

фицитности исходных материалов. Из М. м. наиболее распространен никель, обладающий хорошими магнитострикционными, механич., антикоррозионными св-вами; его недостаток — сравнительно низкая величина электросопротивления; невысокая индукция насыщения ограничивает предельную интенсивность магнитострикц. излучателей УЗ из никеля; темп-ра Кюри 360°С. Сплав пермендюр имеет большие значения магнитострикц. постоянных λ_s и B_s, ϱ в 4 раза больше, чем у никеля, высокие динамич. хар-ки в состоянии остаточного намагничивания, высокую темп-ру Кюри 960°С. Недостатки сплава — коррозионная нестойкость и низкая пластичность. Пермендюр К-65 имеет лучшие механич. св-ва по сравнению со сплавом К49Ф2, однако величина ϱ у него почти в 3 раза ниже. Железо-алюминиевые сплавы (Ю-14 и Ю-12) имеют высокое электросопротивление и хорошие магнитострикц. св-ва, но очень сильно корродируют и обладают повышенной хрупкостью. Их достоинство — недефицитность исходных материалов. Ферритовые М. м. появились лишь в последние годы. Магнитострикц. постоянные их достаточно высоки. Преимущество ферритов — высокое электросопротивление (практич. отсутствие потерь на токи Фуко) и высокая коррозионная стойкость; темп-ра Кюри для феррита никеля 590°С. Их высокая механич. добротность существенна при изготовлении сердечников для магнитострикц. фильтров. По механич. прочности ферриты заметно уступают металлич. материалам и индукция насыщения их сравнительно низка. Ферриты — наименее дефицитный и самый дешевый М. м.

Лит.: Справочник по электротехническим материалам, т. 2, М.—Л., 1960; Гершгал Д. А., Фридман В. М., Ультразвуковая аппаратура, М.—Л., 1961; Davis C. M., Ferebee S. F., «J. Appl. Phys.», 1950, v. 30, № 4, p. 1138; Sussmann H. and Ehrlich S. L., «J. Acoust. Soc. America», 1950, v. 22, № 4, p. 499; Шур Я. С. [и др.], «Тр. Ин-та физ. металлов. Уральский фил. АН СССР», 1958, вып. 20, с. 131; Голямина И. П., «АЖ», 1960, т. 6, вып. 3, с. 311—20. *И. П. Голямина.*

МАГНИТОСТРИКЦИОННЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ (magnetostrictive converter; convertisseur à magnétostriction; magnetostriktiver Umformer) — электроакустич. или электромеханич. преобразователь, основанный на явлении магнитострикции. В М. п. используется продольная магнитострикция ферромагнитных материалов в области технич. намагничивания. М. п. представляет собой сердечник из магнитострикц. материала с нанесенной на него обмоткой; энергия перем. магнитного поля, создаваемого в сердечнике перем. электрич. током, протекающим по обмотке, преобразуется в энергию механич. колебаний или, вследствие обратимости эффекта магнитострикции, энергия механич. колебаний переходит в энергию магнитного поля, наводящего перем. эдс в обмотке. Преобразующим элементом является сам магнитострикц. «электромеханически активный» материал, в к-ром величины, характеризующие его механич. и магнитное состояния, связаны. Наибольшее значение имеет применение М. п. в качестве излучателей и приемников УЗ (*излучатель ультразвука*, *гидрофон*). М. п. используются также для измерения вибраций различных конструкций и сооружений (*датчик магнитоупругий*) и в качестве фильтрующих и стабилизирующих элементов в радиотехнич. устройствах.

В подавляющем большинстве случаев М. п. работают при пост. составляющей магнитного поля H_0 или индукции B_t, причем $B_0 > B_\sim$, где $B_\sim$ — амплитуда перем. составляющей индукции. При этом деформация зависит от направления магнитного поля, и квадратичный эффект магнитострикции «линеаризуется». При



выборе величины подмагничивающего поля H_0 принимается в расчет возможность получения наибольшего значения требуемой магнитострикционной константы. Подмагничивание в излучателях и приемниках УЗ создается с помощью пост. тока или за счет остаточного намагничивания. Возможны конструкции преобразователей с пост. магнитами.

М. п. для гидроакустики и УЗ промышл. установок чаще всего имеют стержневую (рис., *а*) или кольцевую (рис., *б*) форму. В стержневых М. п. расширяющиеся концы стержней (накладки) соединяются, образуя замкнутый магнитопровод; звук излучается или принимается торцовыми поверхностями. При одностороннем излучении или приеме со стороны неработающей поверхности создают воздушную подушку (возможна обклейка пористой резиной). Кольцевой М. п. работает как фокусирующий излучатель, если пористая резина помещена на наружной поверхности; при обклейке внутр. поверхности преобразователь обладает равномерной азимутальной хар-кой направленности. Для уменьшения потерь из-за вихревые токи сердечники М. п. набирают из пластин магнитострикц. металлов толщиной от 0,05 до 0,2 *мм*, электрически изолированных друг от друга. Сердечники из ферритов не требуют расслоения на пластины ввиду высокого электрич. сопротивления материала.

μ_0	μ_r	H_a (э)	$H_{опт}$ (э)	$K_{опт}$	$a_{опт}$ ($дин/см^2 \cdot гс$)	Λ_r ($гс \cdot см^2/дин$)	Q ($ом \cdot см$)
100—200	20—50	0,6—1,0	10—20	0,15—0,30	$(1,5-2,0)\cdot10^4$	$(1,5-7,2)\cdot10^{-6}$	$7\cdot10^{-6}$
500—700	50—80	1,6—2,0	20—30	0,20—0,30	$(1,1-2,0)\cdot10^4$	$3,7\cdot10^{-6}$	$26\cdot10^{-6}$
150		3,7			$0,4\cdot10^4$		$8\cdot10^{-6}$
1000	100—350	0,7	6—10	0,24	$(0,4-1,0)\cdot10^4$	$(6-7)\cdot10^{-6}$	$90\cdot10^{-6}$
400	60—100	0,6	6—10	0,20—0,30	$(0,4-0,8)\cdot10^4$		$90\cdot10^{-6}$
2500		0,4	7—15	0,20—0,35	$0,35\cdot10^4$		$75\cdot10^{-6}$
650	120	1,0		0,14	$0,8\cdot10^4$	$3,8\cdot10^{-6}$	$14\cdot10^{-6}$
44	34	2,8	15—20	0,21	$2,2\cdot10^4$	$2,8\cdot10^{-6}$	$>10^{+2}$
73	70	2,0	15—20	0,33	$2,8\cdot10^4$	$5,8\cdot10^{-6}$	$>10^{+2}$

Для исследоват. целей применяются иногда излучатели в виде тонкостенных трубок, колеблющихся по длине. Для увеличения площади излучения торец трубки покрывается пластинкой.

В большинстве случаев М. п. используются в режиме резонанса, т. е. частота магнитного поля, возбуждающего колебания излучателя (частота принимаемого гидрофоном звука), совпадает с собств. частотой колебаний вибратора f_0. Для трубки и однородного стержня $f_0 = \sqrt{\frac{E}{d}}\frac{1}{2l}$, где d — плотность материала, E — модуль Юнга, l — длина. Для неоднородного стержневого преобразователя f_0 определяется из условия:

$$S_1 \operatorname{ctg}\frac{\pi}{\sqrt{E/d}} f_0 l_1 = S \operatorname{tg}\frac{2\pi}{\sqrt{E/d}} f_0 l.$$

Здесь S_1 и l_1 — площадь поперечного сечения и длина стержня, S и l — те же величины для накладки. Для кольцевого излучателя приближенно $f_0 = \frac{1}{2\pi r}\sqrt{\frac{E}{d}}$, где r — средний радиус кольца. Наличие отверстий для обмотки понижает собств. частоту кольца. Наиболее рационально применение М. п. на частотах от 10 до 60 *кгц*, хотя выпускаются преобразователи с частотами до 200 *кгц*, а в лабораторной практике — более 1 *Мгц*. Электроакустич. кпд М. п. на частотах в десятки *кгц* обычно составляет 30—50%.

При толщине пластин 0,1 *мм* в диапазоне до 100 *кгц* преобладают потери на гистерезис; на более высоких частотах — потери на вихревые токи, сильно снижающие кпд: для 500 *кгц* он не превышает 8%. Заметно сказываются на кпд и механич. потери: механико-акустический кпд излучателей составляет 70—80%. М. п. из ферритов, ввиду практич. отсутствия потерь на вихревые токи и высокой механич. добротности материала, обладают электроакустич. кпд 70—80%, мало меняющимся с возрастанием частоты.

Интенсивность ультразвука I, излучаемого на резонансной частоте стержневым преобразователем, равна:

$$I = \frac{a^2 B^2}{Z}\left(\frac{S_1}{S}\right)^2 \cos^2 k l \cdot \eta_{ма}^2,$$

где Z — сопротивление нагрузки, $\eta_{ма}$ — механико-акустич. кпд; a — магнитострикц. постоянная; k — волновое число материала сердечника. Макс. интенсивность ограничивается магнитострикцией насыщения и механич. прочностью материала преобразователя. Для никеля можно получить $I = 20$ *вт/см²*, обычно работают при 7—10 *вт/см²*; излучатели из железо-кобальтовых сплавов работают с $I = 20$ *вт/см²*, ферритовые излучатели вследствие меньшей прочности дают в режиме кавитации $I \leqslant 2$—3 *вт/см²*. Резонансная чувствительность магнитострикц. приемников

$$\gamma = \frac{\Lambda n}{z}\eta_{ма} q,$$

где n — число витков обмотки, q — величина, зависящая от формы и размеров сердечника и от упругих св-в материала; Λ — магнитострикционная постоянная чувствительности.

Ценным качеством М. п. является возможность применения их при высоких темп-рах благодаря высокой точке Кюри для большинства магнитострикционных материалов. Для согласования преобразователя с электрич. схемой имеет значение знание его электрич. импеданса. Кроме того, на основании частотной хар-ки импеданса можно вычислить многие параметры преобразователя. Для удобства расчетов импеданс преобразователя часто представляют в виде эквивалентной схемы; простейшая схема М. п. дана на рис., *в*, где $L_э$ и $R_э$ — индуктивность обмотки и ее омич. сопротивление, а $L_м$, $C_м$, $R_м$ и $R_н$ — соответственно электрич. эквиваленты массы, упругости излучателя, сопротивления его механич. потерь и сопротивления нагрузки.

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., М., 1956; Харкевич А. А., Теория преобразователей, М.—Л., 1949; Гутин Л. Я., Магнитострикционные излучатели и приемники, «ЖТФ», 1945, вып. 12, с. 924—41; Hecht H., Die Elektroakustischen Wandler, Lpz., 1957; Матаушек И., Ультразвуковая техника, пер. с нем., М., 1962; Steinkamp G., Untersuchungen an magnetostriktiven Schwingern bei Frequenzen zwischen 80 ... 500 kHz, «Acustica», 1953, v. 3, № 6, S. 399. *И. П. Голямина.*

МАГНИТОСТРИКЦИЯ (magnetostriction; magnétostriction; Magnetostriktion) — изменение формы и размеров тела при намагничивании. В ферромагнетиках и ферримагнетиках (железе, никеле, кобальте, ряде сплавов, ферритах) М. достигает значит. величин. Экспериментально наиболее изучена М. в поликристаллич. ферромагнетиках. Обычно измеряется относит. удлинение образца в направлении поля (продольная М.) или перпендикулярно направлению поля (поперечная М.). Для металлов и сплавов продольная и поперечная М. в области полей технич. намагничивания имеют разные знаки, а в области парапроцесса — одинаковые; для большинства ферритов как продольная, так и поперечная М. отрицательны. Величина поперечной М. меньше, чем продольной. Величина, знак и ход кривой зависимости М. от напряженности поля (рис. 1) и намагниченности зависят от структурных особенностей образца (кристаллографич. структуры, примесей посторонних элементов, термич. и холодной обработки). Для Fe продольная М. в слабом магнитном поле положительна (удлинение тела), в более сильном по-

ле — отрицательна (укорочение тела). Для Ni при всех значениях поля продольная М. отрицательна. В случае Co М. в зависимости от термообработки изменяет не только величину, но и знак. Большинство сплавов в системах Fe—Ni, Fe—Co, Fe—Pt и др. имеют положит. знак продольной М. Среди сплавов наибольшей продольной М. обладают сплавы в системах Fe—Pt, Fe—Pd, Fe—Co, Mn—Sb, Mn—Cu—Bi. Среди ферритов наибольшая М. у феррита кобальта ($CoO \cdot Fe_2O_3$). Рекордно высока М. у некоторых редкоземельных металлов; у Dy, например, $\Delta l/l \approx 1200 \cdot 10^{-6}$, т. е. в 30 раз больше, чем у Ni. М. в области технич. намагничивания обнаруживает явление гистерезиса (рис. 2). На М. в сильной степени влияют также темп-ра, упругие напряжения и даже характер размагничивания («магнитная текстура»), к-рому подвергался образец перед измерением. Из рис. 3 видно, что для сплава 36% Ni, 64% Fe в области слабых полей продольная и поперечная М. имеют разные знаки, а в области больших полей — одинаковые (объемный характер М.). Сплавы с содержанием 27—45% Ni имеют очень большую объемную М., тогда как в других сплавах этой системы она ничтожно мала (рис. 4). В непосредств. связи с М. находится термодинамически обратное ей явление — изменение намагниченности ферромагнитного тела при деформации (магнитоупругий эффект).

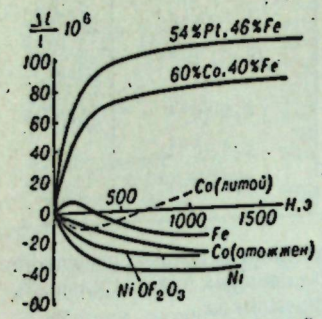


Рис. 1. Зависимость продольной магнитострикции от напряженности поля.

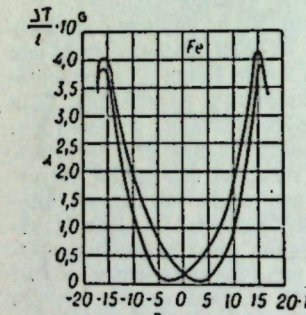


Рис. 2 Петля гистерезиса магнитострикции железа.

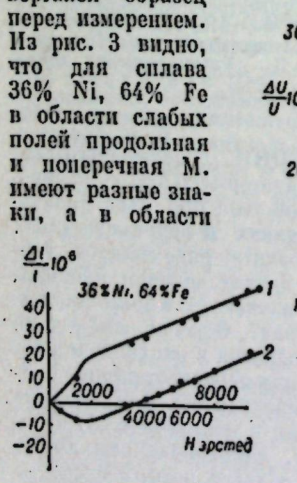


Рис. 3.

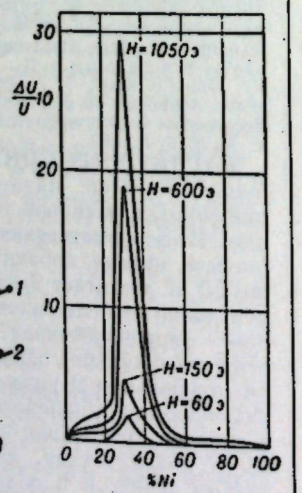


Рис. 4.

Рис. 3. Продольная (кривая 1) и поперечная (кривая 2) магнитострикции сплава 36% Ni, 64% Fe.

Рис. 4. Объемная магнитострикция в системе Fe—Ni.

Лит.: Белов К. П., Упругие, тепловые и электрические явления в ферромагнетиках, 2 изд., М., 1957; Бозорт Р., Ферромагнетизм, пер. с англ., М., 1956; Белов К. П., Магнитные превращения, М., 1959.

МАЗЕР (maser; maser; Maser) — квантовый усилитель или генератор, работающий в радиодиапазоне. Термин «maser» образован первыми буквами англ. наз. microwave amplification by stimulated emission of radiation — «микроволновое усиление с помощью индуцированного испускания излучения». Активной средой служит в М. либо молекулярный пучок (молекулярные генераторы), либо парамагнитные кристаллы. Квантовые усилители (см. *Квантовая система*)

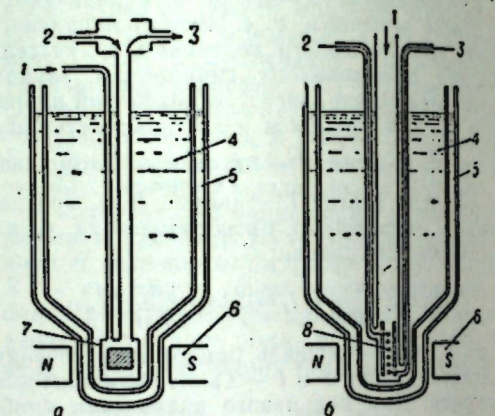


Рис. 1. Схема парамагнитного усилителя: *а* — резонаторного; *б* — с бегущей волной; *1* — сигнал подсветки с клистрона; *2* — входной сигнал; *3* — усиленный сигнал; *4* — жидкий гелий; *5* — жидкий азот; *6* — полюса магнита; *7* — объемный резонатор с активной средой; *8* — замедляющая система с активной средой.

разделяются на резонаторные (возбужденные молекулы или ионы находятся в объемном резонаторе) и на усилители бегущей волны (активная среда заполняет отрезок волновода, через к-рый проходит бегущая волна). Квантовый генератор—частный случай резонаторного усилителя, в к-ром создан автоколебат. режим.

При работе с парамагнитными кристаллами используются квантовые уровни парамагнитных ионов примесного материала, введенного в кристалл. Эти уровни соответствуют различным ориентациям магнитного момента иона относительно внешнего магнитного поля. Используется трехвалентный ион хрома Cr^{3+} в рубине; кроме того — ионы гадолиния Gd^{3+} в этилсульфате лантана, железа Fe^{3+} в двуокиси титана TiO_2 и др. При переходах между парамагнитными уровнями излучается энергия в диапазоне радиочастот (от 1 до 100 *см*). Расстояние между уровнями зависит от величины внешнего пост. магнитного поля, так что, изменяя поле (обычно в пределах *кэ*), можно перестраивать усилитель. Для снижения тепловых шумов активная среда усилителя охлаждается до температуры жидкого гелия. Для подкачки обычно используется вспомогат. клистронный генератор.

Резонаторные усилители (рис. 1, *а*) принципиально имеют более узкую полосу пропускания, чем усилители бегущей волны; она сужается с увеличением коэфф. усиления. Так, в

резонаторном парамагнитном усилителе на рубине величина $(K-1)\Delta f$ (где K — коэфф. усиления по напряжению, Δf — ширина полосы) достигает 230 *Мгц*, при этом $K \sim 20$ *дб*, $\Delta f \sim 10$ *Мгц*, а перестройка возможна в диапазоне от 9405 до 9610 *Мгц* ($\lambda \sim 3$ *см*); частота вспомогат. сигнала порядка 24 000 *Мгц*. В то же время в усилителе бегущей волны (рис. 1, *б*) на основе рубина ширина полосы при работе на 5800 *Мгц* составляет 25 *Мгц*, причем рабочая частота может перестраиваться в пределах от 5750 до 6100 *Мгц*; частота генератора подсветки порядка 20 000 *Мгц*. В таком же усилителе на основе этилсульфата гадолиния рабочая частота от 6000 до 6300 *Мгц* при полосе пропускания 30 *Мгц*. Значит. расширения полосы пропускания можно добиться, используя активный материал в виде отд. каскадов с неск. различающейся настройкой; в рубиновом М. бегущей волны таким путем была получена полоса шириной 67 *Мгц* при усилении 13 *дб*. Значит. уменьшения размеров усилителя бегущей волны добиваются применением

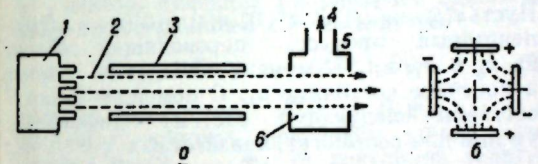


Рис. 2. Молекулярный генератор: *а* — схема; *б* — разрез квадрупольного конденсатора (напряжение между пластинами неск. десятков *кв*); *1* — источник молекул; *2* — молекулярный пучок; *3* — сортирующая система (квадрупольный конденсатор); *4* — генерируемый сигнал; *5* — волновод; *6* — объемный резонатор.

различных замедляющих систем (геометрич. резонансных, диэлектрич.), благодаря к-рым увеличивается эффективность взаимодействия усиливаемого сигнала с усилит. кристаллом.

С точки зрения освоения миллиметрового и субмиллиметрового диапазонов незаменимыми оказываются М., работающие по схеме четырех и пяти уровней, т. к. при этом частота подкачки меньше частоты полезного сигнала. Напр., по такой пятиуровневой схеме работает усилит. М., в к-ром при подкачке на частоте 65 000 *Мгц* усиливается сигнал на частоте 96 000 *Мгц* (3 *мм*); усиление в 10 *дб*. Такой М. изготовлен на основе рутила и работает при 4,2°К.

Все М. характеризуются чрезвычайно низким уровнем собственных шумов. Эффективная темп-ра шумов не превышает неск. °К; шумфактор в принципе определяется только спонтанным излучением и имеет величину порядка 1,01. Использование М. связано прежде всего именно с этим: они позволяют значительно расширить возможности радиоспектроскопич. методов исследования; сильно повышается чувствительность радиотелескопов, снабженных мазерным усилителем. Возможно использование мазерных усилителей для радиолокации, трансконтинент. и космич. связи. При такой работе шумы определяются только приемными и подводящими устройствами.

Среди генерирующих М. наиболее распространены т. н. молекулярные генераторы, в к-рых активной средой служит пучок молекул, напр. аммиака (рис. 2). Для работы такого генератора используются два близких, т. н. «инверсионных», уровня, обусловленных структурой молекулы аммиака. С помощью спец. сортирующей электростатич. системы из пучка молекул выделяются те, к-рые находятся на верхнем уровне и к-рые затем попадают в объемный резонатор, настроенный на частоту перехода (24 000 *Мгц*, т. е. 1,25 *см*). Генерируемое излучение сосредоточено в чрезвычайно узкой полосе (~10 *гц*). Выходная мощность невелика ($\sim 10^{-10}$ *вт*); но достаточна для того, чтобы ее можно было усилить с помощью устройств СВЧ.

Активной средой может служить также и пучок атомарного водорода. Такой генератор работает на длине волны 21 *см*. Стабильность его может достигать 10^{-13}, тогда как в генераторе на аммиаке она составляет до 10^{-11}. Стабильность молекулярного генератора значительно превосходит стабильность всех др. генераторов сантиметровых волн; поэтому он используется как эталон частоты и времени, как задающий генератор для точных измерений частоты.

Зависимость расстояния между энергетич. уровнями парамагнитных ионов от напряженности магнитного поля используется в магнитометрах, сконструированных на основе М. Напр., магнитометр, в к-ром используется М. на основе паров рубидия, позволяет измерять магнитные напряженности до 10^{-2} *э*.

Лит.: Троуп Г., Квантовые усилители и генераторы, пер. с англ., М., 1961; Зингер Дж. Р., Мазеры, пер. с англ., М., 1961; Квантовые парамагнитные усилители. Сб. ст., пер. с англ., М., 1961; Басов Н. Г., Прохоров А. М., «ЖЭТФ», 1954, т. 27, вып. 4(10), с. 431; 1955, т. 28, вып. 2, с. 249; Басов Н. Г., «ПТЭ», 1957, № 1, с. 71; Басов Н. Г., Крохин О. Н., Попов Ю. М., «УФН», 1960, т. 72, вып. 2, с. 161; Басов Н. Г., Орасевский А. Н., «ИВУЗ. Радиотехника», 1959, т. 2, № 1, с. 3; Басов Н. Г. [и др.], «УФН», 1961, т. 75, вып. 1, с. 3; Зверев Г. М. [и др.], там же, 1962, т. 77, вып. 1, с. 61.

М. М. Горшков.

МАКСИМУМА ПРИНЦИП (maximum principle; principe du maximum; Maximal-Prinzip) — название нескольких близких по формулировке и содержанию теорем, устанавливающих необходимые условия решения значит. числа неклассич. вариац. задач и составляющих ядро теории оптим. процессов. Осн. объект этой теории — управляемый объект, достаточно общая и удобная математич. модель для изучения к-рого состоит в следующем. Состояние объекта задается в каждый момент времени числами $x^1, \ldots, x^n$ — фазовыми координатами. Движением объекта (изменением его фазовых координат) можно управлять, для чего объект снабжен «рулями», положение к-рых характеризуется в каждый момент времени числами $u^1, \ldots, u^r$ — управляющими параметрами. Предполагается, что закон движения объекта и закон воздействия «рулей» на это движение задается системой обыкновенных дифференц. ур-ний следующего вида:

$$\dot{x}^i = f^i(x^1, \ldots, x^n; u^1, \ldots, u^r) = f^i(x, u), \quad i = 1, \ldots, n. \qquad (1)$$

Если задано нач. фазовое состояние x_0 (т. е. значение $x_0^1, \ldots, x_0^n$ фазовых координат в нач. момент $t = t_0$), то дальнейшее поведение объекта зависит от того, как будут изменяться с течением времени управляющие параметры, причем если ф-ции (управляющие ф-ции, управление) $u^1(t), \ldots, u^r(t)$ при $t > t_0$ заданы, то движение объекта однозначно определяется из системы (1). В возможности выбирать по нашему усмотрению управляющие ф-ции $u^1(t), \ldots, u^r(t)$ и заключается возможность управления объектом.

Одной из важнейших задач, связанных с управляемыми объектами, является следующая:

выбрать такое управление $u^1(t), \ldots, u^r(t)$, к-рое переведет объект из заданного в момент t_0 нач. фазового состояния x_0 в предписанное конечное состояние x_1. При этом обычно требуется, чтобы процесс перехода из x_0 в x_1 — переходный процесс — удовлетворял определенным дополнит. требованиям, напр., чтобы время перехода из x_0 в x_1 было минимальным или чтобы затраченная энергия была минимальной, и т. п. Такой «наилучший» переходный процесс наз. оптимальным. Точнее, предполагается, что задан нек-рый критерий эффективности I — время, работа и т. п., и переходный процесс считается оптимальным, если переход из x_0 в x_1 совершается с минимальным возможным значением величины I. Предположим, что критерий эффективности задается интегралом вида

$$I=\int_{t_0}^{t_1} f^0(x^1,\ldots,x^n;\ u^1,\ldots,u^r)\,dt; \qquad (2)$$

здесь t_1 — время окончания переходного процесса (попадание в положение x_1), причем в зависимости от постановки задачи t_1 может быть заранее фиксированным или заранее неизвестным. Будем рассматривать задачу, в к-рой момент t_1 окончания переходного процесса заранее не фиксируется.

Обычно управляющие параметры $u^1, \ldots, u^r$ не могут принимать совершенно произвольных значений; они подчинены нек-рым ограничениям. Часто в приложениях встречается случай, когда каждый из управляющих параметров $u^1, \ldots, u^r$ может изменяться в заданных для него пределах:

$$a^i \leqslant u^i \leqslant b^i,\ i=1,\ldots,r.$$

В общем случае примем, что в соответствии с конструкцией объекта и условиями его эксплуатации задано в пространстве переменных $u^1, \ldots, u^r$ нек-рое множество U — область управления — и управляющие параметры $u^1, \ldots, u^r$ должны в каждый момент времени принимать лишь такие значения, для к-рых точка $u=(u^1, \ldots, u^r)$ принадлежит множеству U.

Наконец, предположим, что «рули», положения к-рых характеризуются управляющими параметрами $u^1, \ldots, u^r$, безынерционны, так что в случае нужды можно мгновенно переключать эти «рули» из одного положения в другое, т. е. мгновенно менять скачком значения управляющих параметров $u^1, \ldots, u^r$. В соответствии с этим будем рассматривать не только непрерывные, но и произвольные кусочно-непрерывные управления $u^1(t), \ldots, u^r(t)$, т. е. будем допускать, что каждая из ф-ций $u^1(t), \ldots, u^r(t)$ может иметь конечное число разрывов первого рода. Предположение о безынерционности «рулей» не ограничивает возможностей применения теории. Пусть, напр., u — угол поворота руля направления на самолете. Т. к. руль имеет определ. массу и находится во встречном потоке воздуха, то двигатель, имеющий конечную мощность, может поворачивать руль лишь с огранич. скоростью, так что величина u не может меняться скачком. Но это только означает, что u следует считать одной из фазовых координат, написав для нее ур-ние $\dot{u}=v$, где v — скорость поворота руля, к-рую и следует принять за управляющий параметр. Вообще, при правильном выборе математич. идеализации процесса можно считать управляющие параметры безынерционными.

Теперь математич. задача об отыскании оптим. процессов полностью поставлена: из всех кусочно-непрерывных управлений $u^1(t), \ldots, u^r(t)$, не выходящих из пределов области управления U, найти такое, к-рое переводит объект, движущийся по закону (1), из заданного нач. состояния x_0 в предпис. конечное состояние x_1 и при этом придает интегралу (2) наименьшее возможное значение.

Для решения этой задачи (для формулировки необходимого условия оптимальности), кроме неизвестных $x^1, \ldots, x^n, u^1, \ldots, u^r$, характеризующих процесс, вводятся еще вспомогат. неизвестные $\psi_0, \psi_1, \ldots, \psi_n$ и выписывается следующая ф-ция $H=H(\psi, x, u)$ переменных $\psi_0, \psi_1, \ldots, \psi_n; x^1, \ldots, x^n; u^1, \ldots, u^r$ [ф-ции $f^0, f^1, \ldots, f^n$ берутся из соотношений (1), (2)]:

$$H=\sum_{\alpha=0}^{n}\psi_\alpha f^\alpha(x^1,\ \ldots,\ x^n;\ u^1,\ \ldots,\ u^r). \qquad (3)$$

Пусть $x(t)=(x^1(t),\ldots,x^n(t)), u(t)=(u^1(t),\ldots,u^r(t))$ — некоторый процесс, переводящий объект из x_0 в x_1, и t_1 — момент попадания объекта в конечное состояние x_1. С помощью ф-ции H составим следующую систему дифференц. ур-ний для вспомогат. неизвестных $\psi_1, \ldots, \psi_n$:

$$\dot{\psi}_i=-\frac{\partial H(\psi,\ x(t),\ u(t))}{\partial x^i},\ i=1,\ldots,\ n. \qquad (4)$$

При этих обозначениях имеет место следующая теорема.

Принцип максимума. Для оптимальности процесса $(x(t),\ u(t))$ необходимо существование такой константы $\psi_0 \leqslant 0$ и такого ненулевого решения $\psi(t)$, $t_0 \leqslant t \leqslant t_1$ системы (4), что в любой момент времени t, $t_0 \leqslant t \leqslant t_1$ выполнено условие максимума:

$$\max_{u\in U} H(\psi(t), x(t), u)=H(\psi(t), x(t), u(t))=0, \qquad (5)$$

В соотношении (5) под знаком max стоит функция H с фиксиров. аргументами $x=x(t)$, $\psi=\psi(t)$ (момент t не меняется) и аргументом u, меняющимся во всей области управления U. Согласно условию (5), этот максимум должен достигаться при $u=u(t)$ и быть равным нулю; это должно иметь место при любом t, $t_0 \leqslant t \leqslant t_1$.

Поставл. задача — основная в теории оптим. процессов. При рассмотрении др. задач формулировка М. п. несколько меняется. Напр., если оба момента t_0, t_1 фиксированы заранее, то равенство нулю ф-ции $H(\psi(t),\ x(t),\ u(t))$ следует отбросить.

М. п. для линейных систем. Весьма важными для приложений и хорошо иллюстрирующими общие положения примерами являются линейные оптим. системы, т. е. оптим. системы в случае, когда дифференц. ур-ния, описывающие поведение объекта, линейны:

$$\dot{x}^i=\sum_{\alpha=1}^{n} a^i_\alpha x^\alpha+\sum_{\beta=1}^{r} b^i_\beta u\beta,\ i=1,\ \ldots,\ n \qquad (6)$$

(для простоты предположим, что коэфф. a^i_α и b^i_β — постоянны). В рассматриваемом случае областью управления U будем считать произвольный выпуклый замкнутый ограниченный многогранник, располож. в r-мерном пространстве управляющих параметров $(u^1, \ldots u^r)$. Оптим. задача заключается в выборе управления $u(t)$, к-рое переводит объект [движущийся по закону (6)] из заданного (в момент $t=t_0$) нач. фазового состояния x_0 в предписанное конечное состояние x_1 за миним. время.

Систему (6) удобно переписать в векторном виде:

$$\dot{x}=Ax+Bu. \qquad (7)$$

Здесь A — линейный оператор в n-мерном пространстве фазовых точек x, соответствующий матрице (a^i_α), B — линейный оператор, соответствующий матрице (b^i_β) и отображающий r-мерное пространство управляющих точек $u=(u^1, \ldots, u^r)$ в n-мерное пространство точек x.

Для того чтобы М. п. имел в рассматриваемом случае нетривиальное содержание, предположим выполненным следующее условие невырожденности, накладываемое на линейные операторы A и B в ур-нии (7): если w — вектор, имеющий направление одного из ребер многогранника U, то векторы

$$Bw,\ ABw,\ \ldots,\ A^{n-1}Bw \qquad (8)$$

линейно независимы. Ф-ция $H(\psi,\ x,\ u)$ и вспомогат. система дифференц. ур-ний для вектора $\psi=(\psi_1, \ldots, \psi_n)$ (в векторной записи) имеют в этом случае вид:

$$H(\psi,\ x,\ u)=\sum_{\alpha=1}^{n}\psi_\alpha\left(\sum_{\beta=1}^{n}a^\alpha_\beta x\beta+\sum_{\gamma=1}^{r}b^\alpha_\gamma u^\gamma\right)=\psi\cdot(Ax+Bu),$$

$$\dot{\psi}=-A^*\psi, \qquad (9)$$

где A^* — линейный оператор, сопряженный с оператором A; точкой на середине строки обозначено скалярное произведение двух векторов ψ и $(Ax+Bu)$.

М. п. для линейных систем формулируется следующим образом. Для оптимальности решения $x(t)$, $u(t)$, $t_0 \leqslant t \leqslant t_1$, ур-ния (7) необходимо существование такого ненулевого непрерывного решения $\psi(t)$, $t_0 \leqslant t \leqslant t_1$ ур-ния (9), что в любой момент времени t выполнено условие максимума:

$$H[\psi(t),\ x(t),\ u(t)]=\psi(t)\cdot[Ax(t)+Bu(t)]=\max_{u\in U}\psi(t)\cdot[Ax(t)+Bu]=\psi(t)\cdot Ax(t)+\max_{u\in U}\psi(t)\cdot Bu. \qquad (10)$$

В силу предполагаемой невырожденности ур-ния (7) [независимость векторов (8)] соотношение (10) однозначно определяет управляющую ф-цию $u(t)$, которая оказывается кусочно-постоянной, и ее значениями являются вершины многогранника U.

Для линейных оптим. систем справедливы следующие теоремы единственности и существования.

Если $u_1(t)$, $u_2(t)$, $t_0 \leqslant t \leqslant t_1$ — два оптим. управления, переводящих фазовую точку из положения x_0 в одну и ту же точку x_1, то эти управления совпадают.

Если существует хотя бы одно управление (не обязательно оптимальное), переводящее фазовую точку из положения x_0 в положение x_1, то существует и оптим. управление, переводящее фазовую точку из положения x_0 в положение x_1.

Лит.: Понтрягин Л. С. [и др.], Математическая теория оптимальных процессов, М., 1961; Розоноэр Л. И., Принцип максимума Л. С. Понтрягина в теории оптимальных систем, I, II, III, «АиТ», 1959, т. 20, № 10—12.

В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе.

МАЛОГО ПАРАМЕТРА МЕТОД (method of small paraméter; methode de petit paramétre; Methode des kleinsten Parameters) — метод приближенного нахождения решений системы нелинейных дифференц. ур-ний. В основе М. п. м. лежит предположение о том, что в правых частях нелинейных дифференц. ур-ний, описывающих физическую систему, можно пренебречь в первом приближении нек-рыми «малыми» членами, не оказывающими определяющего влияния на решение системы. Затем решение, полученное для упрощенной т. о. системы, уточняется с учетом отброш. членов и необходимой степенью приближения к действит. решению полной системы. Наибольшее развитие М. п. м. получил для отыскания периодич. решений нелинейной системы дифференц. ур-ний. Пусть физ. система описывается ур-ниями вида:

$$\frac{dx_s}{dt}=X_s(x_1,\ x_2,\ \ldots,\ x_n,\mu);\ s=1,\ 2,\ \ldots,n, \qquad (1)$$

где $x_1,\ x_2, \ldots, x_n$ — переменные системы. М. п. м. накладывает существенное требование на систему — возможность выбора малых значений параметра μ. При условии аналитичности ф-ций X_s малого параметра μ систему (1) можно представить в виде:

$$\frac{dx_s}{dt}=X_s^{(0)}(x_1,\ x_2,\ \ldots,\ x_n)+\mu X_s^{(1)}(x_1, x_2, \ldots, x_n)+\mu^2 X_s^{(2)}(x_1,\ x_2,\ \ldots,\ x_n)+\ldots;\quad s=1,\ 2,\ \ldots,\ n. \qquad (2)$$

Выражения $\mu X_s^{(1)}(x_1,\ x_2,\ \ldots,\ x_n)+\mu^2 X_s^{(2)}(x_1,\ x_2,\ \ldots,\ x_n)$ и есть совокупность малых членов. Упрощенная система ур-ний:

$$\frac{dx_s}{dt}=X_s^{(0)}(x_1,\ x_2,\ \ldots,\ x_n). \qquad (3)$$

Решение системы (3) предполагается существующим и хорошо известным. Пусть $x_s^{(0)}=\varphi_s(t)$ — к.-н. периодич. решение системы (3). Далее стоит задача выяснения условий, при к-рых заданному периодич. решению системы (3) соответствует одно и только одно периодич. решение системы (2), причем такое, что при $\mu=0$ оно обращается в соответствующее решение системы (3). После нахождения этих условий можно приступать к отысканию уточненных решений первоначальной системы (1). Частный случай, когда упрощенная система (3) представляет систему линейных дифференц. ур-ний с пост. коэфф., является наиболее широко распространенным и подробно изученным. При этом основная система (1) наз. квазилинейной. М. п. м. применительно к нелинейным САР получил наибольшее развитие в работах Б. В. Булгакова и позднее А. И. Лурье. В методах, разработанных Булгаковым, учитывается существ. особенность большого числа САР, когда нелинейные элементы в них задаются графически и не могут быть представлены аналитически в виде, удобном для вычислений. В этом случае каждый нелинейный элемент представляется суммой главной линейной

и добавочной нелинейной составляющих: $F(x)=hx+\mu f(x)$, где h — коэфф. пропорциональности.

Дифференц. ур-ния нелинейной САР записываются т. о., чтобы левые части были линейны, а в правых частях содержались только «малые» нелинейные добавки $\mu f(x)$:

$$\left.\begin{aligned}
&\Phi_{11}(p)\,x_1+\Phi_{12}(p)\,x_2+\ldots+\Phi_{1n}(p)\,x_n=\\
&=\mu f_1(x_1,\ x_2,\ \ldots,\ x_n);\\
&\Phi_{21}(p)\,x_1+\Phi_{22}(p)\,x_2+\ldots+\Phi_{2n}(p)\,x_n=\\
&=\mu f_2(x_1,\ x_2,\ \ldots,\ x_n);\\
&\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\\
&\Phi_{n1}(p)\,x_1+\Phi_{n2}(p)\,x_2+\ldots+\Phi_{nn}(p)\,x_n=\\
&=\mu f_n(x_1,\ x_2,\ \ldots,\ x_n).
\end{aligned}\right\}\quad(4)$$

При $\mu=0$ получаем упрощенную линейную систему. Допустим, что характеристич. ур-ние этой упрощенной системы:

$$D(z)=0 \qquad (5)$$

имеет пару чисто мнимых сопряженных корней $(\pm j\omega_c)$, тогда полином (5) принимает вид:

$$D(z)=(z^2+\omega_0^2)\,D_1(z).$$

Периодич. решение упрощенной системы при $\mu=0$, наз. порождающим решением, запишется так:

$$x_j^*=A_0(L_j\sin\omega_0 t+M_j\cos\omega_0 t),$$
$$j=1,\ 2,\ \ldots,\ n; \qquad (6)$$

L_j и M_j определяются из упрощенной системы ур-ний. Периодич. решение для нелинейной системы (4) ищется в следующем виде:

$$x_j=x_j^*+\left(\frac{\partial x_j}{\partial\mu}\right)_{\mu=0}\cdot\mu+\left(\frac{\partial^2 x_j}{\partial\mu^2}\right)_{\mu=0}\cdot\mu^2+\ldots \qquad (7)$$

В большинстве задач ТАР ограничиваются первым приближением в форме:

$$x_j\approx x_j^*+\left(\frac{\partial x_j}{\partial\mu}\right)_{\mu=0}\cdot\mu. \qquad (8)$$

Вместо t вводится новая независимая переменная $\tau=(1+\alpha)t$, где α — нек-рая пока неизвестная ф-ция μ, причем при $\mu\neq0$, $\alpha\neq0$, а при $\mu=0$, $\alpha=0$. Для отыскания добавочного члена в ур-нии (8) дифференцируются ур-ния системы (4) по μ с учетом замены t на τ. Затем, применяя разложение Фурье, записывается условие периодичности решения и в результате ряда преобразований выводится соотношение:

$$A_0\left[\frac{\partial D(z)}{\partial z}\cdot z\alpha\right]_{z=j\omega_0}=\frac{1}{\pi}\sum_{e=1}^{n}F_{eq}(j\omega_0)\times$$
$$\times\int_0^{2\pi}\mu f_e(x_1^*,\ x_2^*,\ \ldots,\ x_n^*)\,e^{-ju}du, \qquad (9)$$

где $u=\omega_0 t$, F_{eq} находятся из упрощенной системы. Выделением в выражении (9) веществ. и мнимой частей получается два ур-ния для определения неизвестных A_0 и α. Искомое периодич. решение записывается в виде:

$$x_j=A_0(L_j\sin\omega_n t+M_j\cos\omega_n t),$$

где $\omega_n=(1+\alpha)\omega_0$. Затем исследуется устойчивость найденного т. о. периодич. решения. М. п. м., разработанные Булгаковым, позволяют приближенно находить кривые переходных процессов в нелинейных САР.

Лит.: Малкин И. Г., Методы Ляпунова и Пуанкаре в теории нелинейных колебаний, Л.—М., 1949; Булгаков Б. В., Колебания, М., 1954; Лурье А. И., Некоторые нелинейные задачи теории автоматического регулирования, М.—Л., 1951; Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959; Попов Е. П., Динамика систем автоматического регулирования, М., 1954.

С. Д. Земляков.

МАНОМЕТР (pressure gauge; manomètre; Manometer) — прибор для измерения давления газов, паров или жидкостей. Различают М. — для измерения избыточного давления, вакуумметры — для измерения разрежения,



Рис. 1. Чувствительные элементы манометров.

мановакуумметры — для измерения избыточного давления и разрежения, микроманометры — для измерения небольших избыточных давлений, разрежений и разности давлений (до 500 *мм вод. ст.*), барометры — для измерения атмосферного давления, М. абсолютного давления — для измерения полного давления. М. для измерения разности давлений наз. дифманометрами. В общем случае манометрич. устройства состоят из чувствит. элемента, преобразователя-усилителя, дистанц. передачи и вторичного прибора. По принципу действия чувствит. элементы М. делятся на гидравлич. [воспринимающий орган — жидкость (вода, ртуть, минеральное масло, спирт и др.)], механич. (воспринимающий орган — упругий элемент) и электрич., основанные на зависимости электрич. свойств веществ от давления (рис. 1). Выходными величинами чувствит. элементов могут быть: перемещение линейное или угловое, усилие, электрич. сопротивление и др. В большей части чувствит. элементов измеряемое давление действует на поверхность, получаемое усилие $F=PS_{эфф}$, где P — давление, $S_{эфф}$ — эффективная площадь.

Гидравлич. чувствит. элементы (см. *Датчик давления жидкостный*) — одни из наиболее точных и стабильных. Однако вследствие эксплуатац. неудобств (малые пределы измерения, необходимость строго вертик. расположения, большие габариты, вредность паров ртути и др.) более широкое применение в системах автоматич. контроля и регулирования получили М. с упругими элементами. Действие М. с трубчатыми пружинами основано на зависимости упругой деформации трубчатой пружины от давления. Одновитковая трубчатая пружина (трубка Бурдона) может иметь любое из сечений (рис. 2), винтовая — *3*, *4*, *6*, *7*, спиральная и S-образная — *3*, *6*, *7*. Угол раскручивания одновитковой

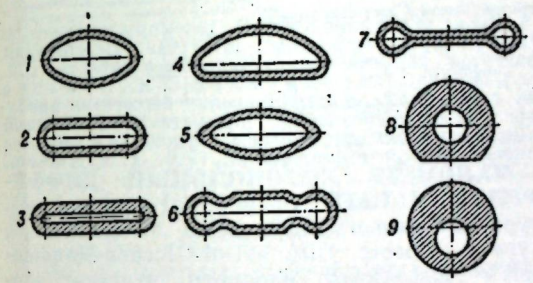


Рис. 2. Поперечные сечения трубок манометров с трубчатыми пружинами.

пружины до 10°, многовитковых до $10°n$, где n — число витков. Отличительная особенность S-образных пружин — линейное перемещение свободного конца. Ход витых трубчатых пружин 2—13°. Материалом для изготовления трубок М. на давления до 50 *кг/см²* служат медные сплавы, на более высокие давления — сталь. Широко применяются дисперсионно-твердеющие сплавы, обладающие высокими упругими и антикоррозионными свойствами. Для измерения очень высоких давлений применяют стальные одновитковые пружины (сечения 8 и 9), а также прямые стержни из упругого материала, засверленные с торца до половины длины и покрытые снаружи проволочным тензодатчиком. Они обладают высокой жесткостью и допускают измерения быстроменяющихся давлений.

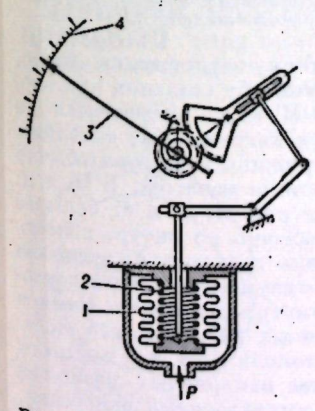


Рис. 3. Принципиальная схема сильфонного манометра: *1* — сильфон; *2* — пружина; *3* — стрелка; *4* — шкала.

В сильфонном М. (рис. 3) измеряемое давление, действующее на эффективную площадь гофрированной коробки (*сильфона*) *1*, уравновешивается усилием упругой деформации коробки и связанной с ней калиброванной измерит. пружины *2*. Для уменьшения влияния нелинейности упругих хар-к сильфона и гистерезиса, достигающего иногда 5%, жесткость калиброванной измерит. пружины выбирают значительно большей, чем жесткость сильфона. Пром. приборы этого типа имеют класс точности не выше 1 и 1,5. Более высокими хар-ками обладает сильфонный М. (класса 1 и 0,5) с преобразователем по схеме силовой компенсации (см. *Датчик давления компенсационный*).

В мембранных М. воспринимающим органом является гибкая пластинка (*мембрана*), зажатая по контуру. Плоские металлич. мембраны в сочетании с пьезокварцевым преобразователем, с угольными дисками и др. применяются при измерении высоких давлений, быстро меняющихся во времени. М. с емкостными датчиками, где мембрана является одной из пластин конденсатора, используются для измерения пульсирующих давлений в широком диапазоне (0—100 *кг/см²* при частоте пульсации от 0 до 1500 *гц*). Менее жесткие гофрированные мембраны применяют в сочетании с реостатными фотоэлектрич. термокомпенсац. и др. датчиками. Наиболее стабильными хар-ками обладают М. с мягкими (вялыми) мембранами с жестким центром и пружиной (рис. 4).

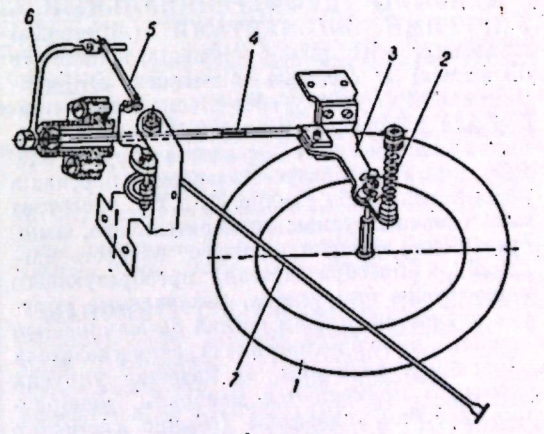


Рис. 4. Принципиальная схема манометра с вялой мембраной: *1* — вялая мембрана; *2* — уравновешивающая пружина; *3*, *6* — рычаги; *4* — валик; *5* — тяга; *7* — стрелка.

Жесткость конструкции и стабильность величины эффективной площади поршневых М. обусловливают наиболее высокий класс точности (до 0,05) этих приборов. Действие их основано на уравновешивании грузами (или пружиной) силы, действующей на поршень. Основное применение поршневые М. нашли для проверки и тарировки манометрич. систем др. типов.

М. с электрическими чувствит. элементами распространены значительно меньше, в основном для измерения очень низких (см. *Вакуумметр ионизационный*, *Вакуумметр магнитоэлектроразрядный*, *Вакуумметр радиоактивный*, *Вакуумметр радиометрический*) или сверхвысоких давлений. Действие М. сопротивления основано на изменении электрич. сопротивления проводника (обычно манганинового) под действием внешнего давления в пределах от 1000 *кг/см²* и выше. В радиоизотопных М. используется явление поглощения средой β- и γ- излучений.

Имеется много исполнений М. с гидравлич. и механич. чувствит. элементами: показывающие, регистрирующие, регулирующие; местные и с дистанционной передачей информации; с пневматич., индукционным, потен-

циометрич., индуктивным, дифференц.-трансформаторным и др. преобразователями перемещения чувствит. элемента в пропорц. пневматич. или электрич. сигнал, удобный для дистанц. передачи (см. *Датчик индуктивный*, *Датчик трансформаторный*). Имеются также электроконтактные М. для сигнализации и позиционного регулирования. Пределы измерения М. определяются их чувствит. элементами (см. рис. 1).

Лит.: Чистяков С. Ф., Краткий справочник по теплотехническим приборам и регуляторам, М.—Л., 1960; Преображенский В. П., Теплотехнические измерения и приборы, 2 изд., М.—Л., 1953; Кошарский Б. Д., Справочник по теплоизмерит. приборам и авторегуляторам электрических станций, 2 изд., М.—Л., 1955; Агейкин Д. И., Костина Е. Н., Кузнецова Н. Н., Датчики систем автоматического контроля и регулирования, М., 1959; Феодосьев В. И., Упругие элементы точного приборостроения, М., 1949; Кулаков М. В., Щепкин С. И., Автоматические контрольно-измерительные приборы для химических производств, М., 1961; Упругие чувствительные элементы, применяемые в приборостроении. Альбом выставки, М., 1962; Миронов К. А., Шипетин Л. И., Теплотехнические измерительные приборы, 2 изд., М., 1958. *О. С. Арутюнов.*

МАНОМЕТР ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ С УПРУГИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ (differential manometer with elastic elements; manomètre différential à éléments élastiques; Differentialmanometer mit Feder-Elementen) — прибор для измерения разности давлений газа, пара или жидкости, содержащий упругий элемент, к-рый преобразует измеряемый перепад в перемещение либо усилие. М. д. с у. э. состоит из 2 основных узлов: измерительного, непосредственно воспринимающего разность давлений, и преобразователя, преобразующего перемещение или усилие, развиваемые упругим элементом, либо в сигнал *дистанционной передачи*, либо в положение стрелки указателя измеряемой величины. В качестве упругих элементов применяются мембраны, мембранные коробки, сильфоны (обычно совместно с цилиндрич. пружиной), или одновитковые манометрич. пружины. Упругие элементы непосредственно контактируют с измеряемой средой либо с разделит. жидкостью.

В зависимости от построения измерит. блока М. д. с у. э. могут быть приборами непосредств. измерения или компенсационными. В зависимости от измеряемых величин М. д. с у. э. разделяются на: 1) расходомеры — для измерения расхода газа, пара или жидкости методом переменного перепада давления; 2) перепадомеры — для измерения разности давлений, разрежения и избыточного давления газа, пара или жидкости; 3) уровнемеры —для измерения высоты столба или разности уровней жидкости, находящейся под атмосферным, вакуумметрическим или избыточным давлением. М. д. с у. э. выполняют на перепады давления от неск. *мм вод. ст.* до неск. *кг/см²* и на статич. давления до 1000 *кг/см²*.

М. д. с у. э. присуща дополнит. погрешность от изменения темп-ры окружающей среды, связанная с изменением модуля упругости упругого элемента, а также объема заполняющей жидкости, при изменении темп-ры.

В М. д. с у. э. (рис.) упругим элементом является блок двух мембранных коробок *3*, внутр. полости к-рых заполнены водой и сообщаются между собой. Под действием разности давлений нижняя мембранная коробка сжимается, жидкость перетекает в верхнюю коробку, вызывая перемещение мембраны и связанного с ней плунжера *2*, что приводит к изменению магнитного потока, и эдс, наводимой во вторичной обмотке индукц. катушки.

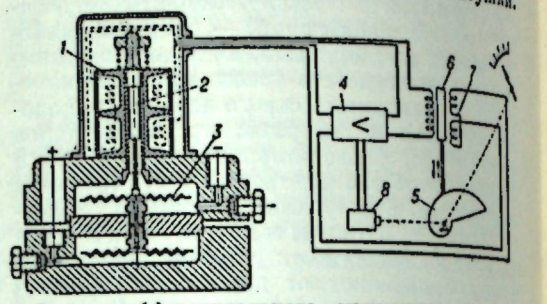


Схема дифференциального манометра: *1* — индукционная катушка; *2* — плунжер; *3* — мембранная коробка; *4* — усилитель; *5* — кулачок; *6* — плунжер; *7* — индукционные катушки вторичного прибора; *8* — реверсивный двигатель.

Лит.: Феодосьев В. И., Упругие элементы точного приборостроения, М., 1949; Перспективы развития упругих чувствительных элементов. [Сб. ст.], М., 1961; Заседателев С. М., Рухадзе В. А., Вопросы конструирования первичных приборов — дифманометров с пневматической силовой компенсацией, в кн.: Системы, устройства и элементы пневмо- и гидроавтоматики, М., 1959. *А. М. Липанов.*

МАНОМЕТР КОЛОКОЛЬНЫЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ (differential-pressure bell-type manometer; manomètre différentiel du type à cloche; Differential-Glocken-Manometer) — дифференц. манометр, чувствит. элементом к-рого является колокол, частично погруженный в жидкость (ртуть или масло). Глубина погружения колокола зависит от разности давлений под колоколом и в корпусе прибора. Движение колокола передается указательной стрелке, пишущему перу,

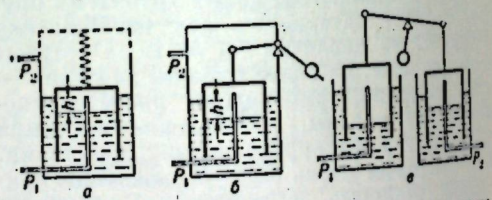


Рис. 1. Типы колокольных дифференц. манометров: P_1 и P_2 — большее и меньшее давления; h — разность уровней жидкости.

интегратору или датчику перемещения (напр., индуктивному). По способу создания противодействующей силы М. к. д. разделяются на чисто гидростатич. и нагруженные дополнит. силой посредством пружины или груза (обычно приложенного к системе рычагов). В М. к. д. с одним колоколом (рис. 1, *а* и *б*) бо́льшее давление подается обычно во внутр. полость колокола, а меньшее — действует на внешнюю его часть. В М. к. д. с двумя колоколами давления подаются во внутр. полости колоколов (рис. 1, *в*), подвешенных на коромысле весов. Высота измерит. колокола и уд. вес жидкости определяют диапазон измеряемых разностей давлений. М. к. д. с диапазонами измерений, не превосходящими 0—400 *кг/м²*, наз. также колокольными микроманометрами; они рассчитаны на статич. давления от 1000 *кг/м²* до 30 000 *кг/м²* (приборы КЭР и КЭМ), обладают сравнительно высокой чувствительностью и применяются для измерения расхода газа, а также для регулирования давления (напр., в рабочих пространствах мартеновских и нагреват. печей, в топках котлов). У М. к. д., применяющихся для измерений расхода пара,

наибольшая разность давлений достигает порядка 5000 *кг/м²* при статич. давлениях до 10^6 *кг/м²*. Относит. предельная погрешность пром. образцов (рис. 2) М. к. д. 1,5—2,5% от верхней границы измерений. Рабочие звенья

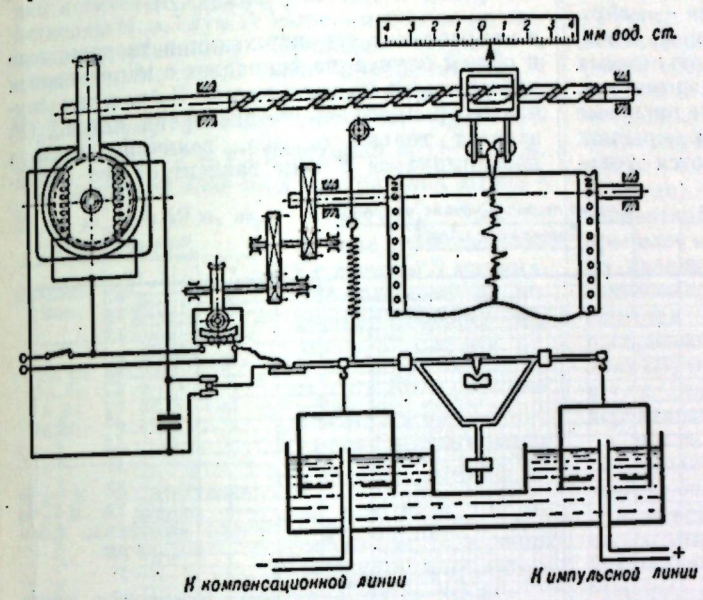


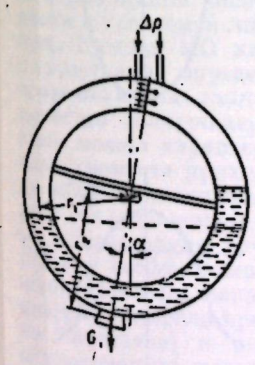
Рис. 2. Промышл. самопишущий колокольный дифференц. манометр.

М. к. д. имеют низкую частоту собств. колебаний (в ряде случаев движение их совершается по апериодич. закону), поэтому М. к. д. не пригодны для измерения быстро изменяющихся разностей давлений.

М. к. д. весового принципа действия, снабженные колоколами особой формы, обладают значительно большей точностью показаний: относит. предельная погрешность статич. показаний микроманометров не более 0,02% от верхнего предела измерений; диапазон измерений 0—15; 0—25; 0—100 и 0—400 *кг/м²*.

Лит.: Мурин Г. А., Теплотехнические измерения, 3 изд., М.—Л., 1958, а также при ст. *Манометр кольцевой дифференциальный.* *Н. И. Белик.*

МАНОМЕТР КОЛЬЦЕВОЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛЬНЫЙ (ring-balance differential manometer; manomètre différentiel à tore pendulaire; Differential-Ring-Manometer)—прибор стационарного типа, измеряющий разности давления газа, пара и жидкости, подвижное звено к-рого состоит из полого металлич. кольца, заполненного до середины жидкостью (водой, маслом или ртутью) и разделенного вверху перегородкой. Кольцо (рис.) опирается ребром трехгранной призмы на подушку. Если сообщить прибору статич. разность давлений $\Delta p \neq 0$, то кольцо с грузом G_1 повернется на угол α. Измеряемая Δp и угол поворота α связаны зависимостью:



$$\Delta p = G_1 r_2 \sin\alpha / S r_1,$$

где G_1 — вес груза, противодействующего вращению кольца; r_1 — средний радиус кольца; r_2 — радиус инерции груза; α — угол поворота кольца; S — внутренняя площадь поперечного сечения кольца.

М. к. д. широко применяются в теплоэнергетике, в металлургич., хим., коксохим. и др. отраслях пром-сти для измерений перепадов давлений, избыточных давлений и разрежений.

Из-за большой инерции и низкой частоты собств. колебаний вращающейся системы М. к. д. не пригодны для измерений переменных разностей давлений с высокими частотами. По способу передачи показаний М. к. д. разделяются на показывающие, регистрирующие и приборы с дистанционной передачей показаний. У приборов серийного произ-ва диапазоны измерений разностей давлений колеблются от 0—25 *кг/м²* до 0—3400 *кг/м²*, при абс. давлениях от близких к атмосферному до неск. сотен и даже тысяч атмосфер. Класс точности М. к. д. завода КИП 1—1,5%.

Лит.: Белик Н. И., Приборы для измерений малых разностей давлений газов, М., 1957; Богданов Ю. М., Приборы точной механики, М., 1960; Кремлевский П. П., Расходомеры. Производственные приборы для измерения расхода жидкости, газа и пара, М.—Л., 1955; Миронов К. А. и Шипетин Л. И., Теплотехнические измерительные приборы, 2 изд., М., 1958; Schmidt E., Messung kleiner Drückunterschiede bei hohen absoluten Drücken., «Z. Vereines dtsch. Ingr.», 1936, Bd 80, № 21, S. 635. *Н. И. Белик.*

МАНОМЕТР С ТРУБЧАТОЙ ПРУЖИНОЙ (Bourdon tube pressure gauge; manomètre à spire Bourdon; Röhrchen-Federmanometer) — *манометр*, в к-ром давление среды измеряется по величине упругой деформации изогнутой трубки (трубчатой пружины), вызываемой этим давлением. Чувствит. элемент М. с т. п. — металлич. трубка, закрытая с одного конца, а др. закрытым концом присоединенная к источнику давления. Трубка изогнута по дуге круга (трубка Бурдона) в виде спирали (плоской или цилиндрической) или S-образно. При повышении давления в трубке она разгибается, перемещая стрелку по шкале или перо по бумаге.

МАНТИССА ЧИСЛА (number mantissa; mantisse d'un nombre; Ziffernmantisse) — множитель m, вводимый при представлении чисел в форме с плавающей запятой, т. е. в виде $m \cdot n^p$, где n — основание системы счисления, а p — порядок числа (см. *Запятая плавающая*).

Н. А. Кринецкий.

МАРКЕР (tag; index; Markierungszeichen) — признак или вспомогат. знак, записываемый на носитель информации вместе с осн. запоминаемыми данными и выполняющий служебные ф-ции. Используется в ЗУ при групповом расположении информации, записываемой на магнитных лентах, барабанах, перфокартах, перфолентах и т. д. М. в осн. являются исходными сигналами для выполнения к.-л. действий или соответствующего восприятия информации. Значение самих М. определяется формой их физич. реализации, отличной от осн. информации (перфорация или цветные метки на магнитной ленте), геометрич. расположением (отдельные

дорожки) или сочетанием во времени (одновременность или последовательность) и др.

Наибольшее применение М. находят для: 1) различия характера информации — адресный М., числовой М.; 2) определения наличия и поиска информации — синхронизирующие М.; 3) управления определ. операциями — напр., признак начала стирания, границы зоны, конца ленты и т. д.; 4) защиты от ложных сигналов, помех, для повышения надежности. Напр., на широкой магнитной ленте числовые и адресные М. записываются на крайних дорожках и считывание разрешается только при наличии 2 М., что гарантирует от ошибок при перекосе ленты. Пример использования М.— магнитная лента ЭВМ «Стрела» (рис.).

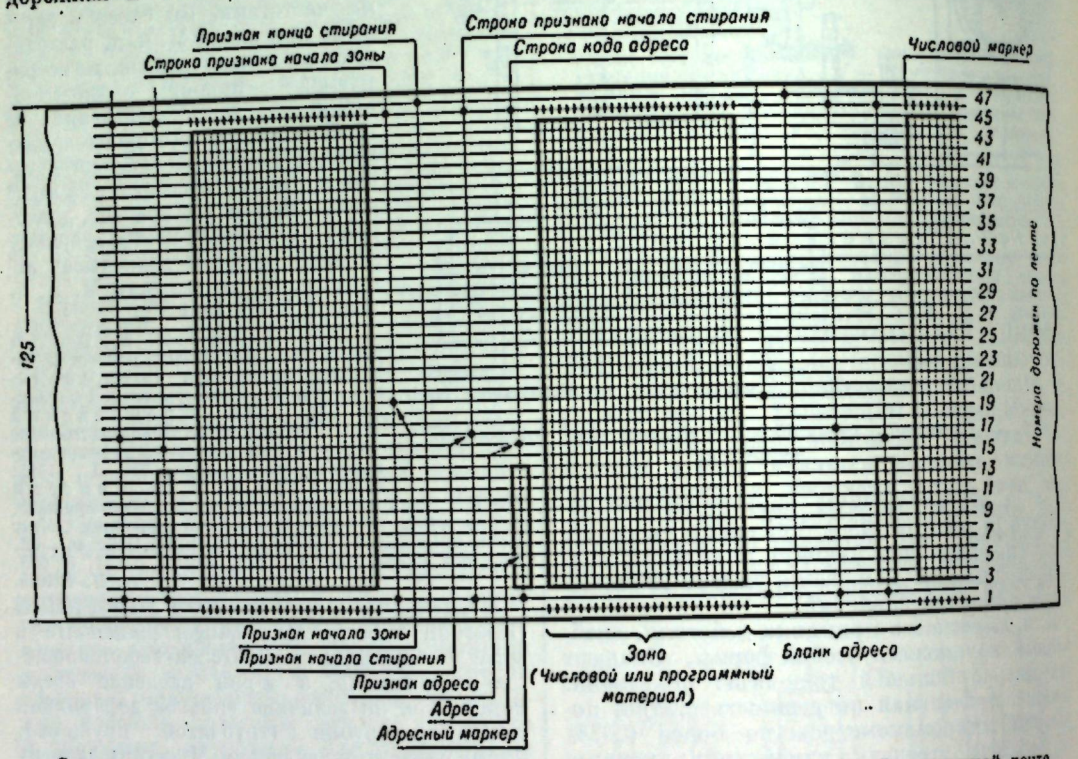


Схема расположения числового материала и вспомогат. информации на широкой магнитной ленте.

В. П. Исаев.

МАССА ЭФФЕКТИВНАЯ носителя заряда в ПП (effective mass; masse effective; wirksame Masse) — величина с размерностью массы, характеризующая движение носителя заряда в ПП под действием электромагнитного поля (см. *Зонная теория*). Энергетич. спектр электронов в кристалле есть ряд полос (зон), внутри к-рых энергия меняется непрерывно и равна $\mathcal{E}_n(P)$, где n — номер зоны, а P — квазиимпульс, изменяющийся в пределах первой зоны Бриллюэна. Скорость электрона v, на к-рой действует сила F, подчиняется ур-нию:

$$v=(\nabla_P\nabla_P\mathcal{E}_n(P))F,$$

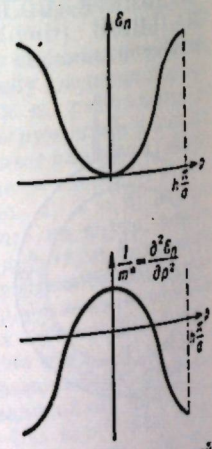
где $\nabla_P\nabla_P\mathcal{E}_n$ — тензор с компонентами

$$\left\langle \begin{matrix} \frac{\partial^2}{\partial p_x^2}\mathcal{E}_n & \frac{\partial^2}{\partial p_x\partial p_y}\mathcal{E}_n & \frac{\partial^2}{\partial p_x\partial p_z}\mathcal{E}_n \\ \frac{\partial^2}{\partial p_x\partial p_y}\mathcal{E}_n & \frac{\partial^2}{\partial p_y^2}\mathcal{E}_n & \frac{\partial^2}{\partial p_y\partial p_z}\mathcal{E}_n \\ \frac{\partial^2}{\partial p_z\partial p_x}\mathcal{E}_n & \frac{\partial^2}{\partial p_z\partial p_y}\mathcal{E}_n & \frac{\partial^2}{\partial p_z^2}\mathcal{E}_n \end{matrix} \right\rangle .$$

Уравнение это аналогично классич. ур-нию движения $\dot{v}=\frac{1}{m}F$, т. е. электрон в кристалле ведет себя подобно свободному электрону с М. э. m^*, обратная величина к-рой

$$1/m^*=\nabla_P\nabla_P\mathcal{E}_n(P),$$

а направление его движения в твердом теле в общем случае не совпадает с направлением действующей на него силы. В частном случае изотропного закона дисперсии, когда $\mathcal{E}_n(P)$ зависит только от абс. величины вектора квазиимпульса P и не зависит от его направления, величина $1/m^*$ оказывается скалярной. Тогда электроны, находящиеся у нижнего края энергетич. зоны, движутся по направлению действующей на них силы. Если же электрон находится у верхнего края зоны, где $1/m^*$ оказывается отрицательной (рис.), он движется в направлении, противоположном направлению действующей на него силы, т. е. в электромагнитном поле такой электрон ведет себя подобно частице с положит. зарядом. Т. о., в ПП, зона проводимости к-рого свободна от электронов, а у верхнего края валентной зоны есть нек-рое число свободных состояний, носителями заряда служат положительно заряж. частицы — *дырки*. Т. к. подавляющее число электронов в ПП концентрируется в области наименьших энергий, наибольший интерес представляют значения М. э. при тех значениях квазиимпульса, при к-рых энергия



$\mathcal{E}_n(p)$ минимальна. Для дырок же существенна М.э. вблизи максимума энергии. М. э., как и параметры кристаллич. решетки, зависит от темп-ры, а вследствие взаимодействия электронов друг с другом еще и от концентрации носителей заряда. Методами измерения величины М. э. служат эксперименты по циклотронному резонансу. Приводим сведения о величинах М. э. В зоне проводимости Si имеется 6 абс. минимумов энергии. Каждому минимуму отвечают две М. э. — поперечная $m^*_{n\perp}=0{,}19\ m$ и продольная $m^*_{n\parallel}=0{,}98\ m$.

В валентной зоне имеется три типа дырок с М. э.: $m^*_{p_1}=0{,}49\ m$, $m^*_{p_2}=0{,}16\ m$, $m^*_{p_3}=0{,}24\ m$.

Соединение	$\frac{m^*_n}{m}$	$\frac{m^*_p}{m}$
Ga As	0,04	—
Ga Sb	0,2	0,4
In As	0,06	0,3
In Sb	0,03	0,2

m^*_n — М. э. электрона; m^*_p — М. э. дырки; m — масса свободного электрона.

В зоне проводимости Ge имеется 8 минимумов, каждому из которых отвечают две М.э.: $m^*_{n\perp}=0{,}042\ m$, $m^*_{n\parallel}=1{,}57\ m$. В валентной зоне имеется также три типа дырок с М. э.: $m^*_{p_1}=0{,}28\ m$, $m^*_{p_2}=0{,}044\ m$, $m^*_{p_3}=0{,}077\ m$. М. э. некоторых *полупроводниковых соединений* определяются из табл.

Лит.: Иоффе А. Ф., Физика полупроводников, [2 изд.]. М.—Л., 1957; Жданов Г. С., Физика твердого тела, [М.], 1961; Шокли В., Теория электронных полупроводников, пер. с англ., М., 1953.

Р. А. Сурис.

МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ТЕОРИЯ (queueing theory; théorie des files d'attente; Bedienungstheorie) — математич. теория, изучающая статистич. закономерности в массовых операциях (МО), состоящих из большого числа однородных элементарных операций. Примерами МО могут служить: обслуживание покупателей в магазине; обслуживание ремонтной бригадой станков, к-рые время от времени выходят из строя; работа АТС, обслуживающей подключенных к ней абонентов; сборка однотипных изделий на конвейере и т. п. В привед. примерах элементарными операциями будут соответственно обслуживание отдельного покупателя, операция ремонта одного вышедшего из строя станка, подключение отдельного абонента к требуемой линии, сборка одного изделия. Каждая МО характеризуется нек-рыми параметрами, определяющими ее качество в соответствии с назначением операции. Так, качество обслуживания покупателя в магазине можно характеризовать средним временем с момента прихода покупателя в магазин до момента окончания обслуживания; в примере с обслуживанием станков наиболее важными показателями качества обслуживания являются коэфф. использования станка (отношение времени исправной работы станка за нек-рый интервал времени к длительности этого интервала) и коэфф. использования обслуживающего персонала, определяемый аналогичным образом. При планировании операций (расчет числа продавцов в магазине, числа станков, поручаемых одному рабочему, количества коммутаторов на АТС, скорости движения конвейера и т. д.) возникает необходимость обеспечения высокого качества с учетом стоимости оборудования, эксплуатации и др. факторов. Поэтому возникает задача расчета тех или иных параметров, связанных с МО и характеризующих ее качество, при различных вариантах технич. реализации.

Большинство реальных МО носят статистич. характер благодаря случайным неравномерностям, привносимым элементарными операциями. Во-первых, моменты времени, когда появляется необходимость в выполнении операций обслуживания (моменты прихода покупателей в магазин, поломки станков и т. д.), не являются детерминированными, а подвержены случайным колебаниям; это создает случайные скопления в процессе обслуживания (очереди). Во-вторых, длительности самих элементарных операций (обслуживания), как правило, не постоянны, а являются случайными величинами. В соответствии с этим М. о. т. занимается определением статистич. хар-к качества обслуживания, таких как ф-ция распределения длительности ожидания, ср. длительность ожидания, ср. длина очереди и т. д. Осн. методом М. о. т. является теория вероятностей.

Одно из главных понятий М. о. т.— понятие входящего потока требований; этим термином определяется последовательность моментов времени, в каждый из к-рых появляется необходимость обслуживания (напр., последовательность моментов выхода из строя станков). В общем случае входящий поток требований представляет случайный процесс, к-рый описывается многомерными распределениями. В приложениях используются входящие потоки, к-рые можно описать небольшим числом хар-к, доступных для эксперимент. оценки. М. о. т. дает теоретич. обоснование такого рода потокам, выводя аналитич. свойства статистич. хар-к потока из предпосылок, к-рые обычно имеют простой физич. смысл и могут быть проверены экспериментально. Так, получивший наибольшее применение поток Пуассона, или простейший поток, выводится из трех предпосылок: стационарности, отсутствия последействия, ординарности. Если $p_n(t_0, t_1, \ldots, t_n; k_1, k_2, \ldots, k_n)$ обозначает для $t_0<t_1<\ldots<t_n$ вероятность появления k_i требований в интервале (t_{i-1}, t_i) для всех i, $1\leqslant i\leqslant n$, то стационарность сводится к условию:

$$p_n(t_0, t_1, \ldots, t_n; k_1, k_2, \ldots, k_n)=$$
$$=p_n(t_0+\tau; t_1+\tau, \ldots, t_n+\tau; k_1, k_2, \ldots, k_n),$$
$$n\geqslant 0,\ \tau\geqslant 0;$$

отсутствие последействий — к условию:

$$p_n(t_0, t_1, \ldots, t_n; k_1, k_2, \ldots, k_n)=$$
$$=p_1(t_0, t_1; k_1)\ldots p_1(t_{n-1}, t_n; k_n),$$

а ординарность означает, что

$$1-p_1(t_0, t_1; 0)-p_1(t_0, t_1; 1)=0(t_1-t_0)$$

при $t_1-t_0\to 0$. Поток Пуассона служит хорошим приближением для таких реальных потоков, как поток космич. частиц, поток вызовов, поступающих на телефонную станцию, поток покупателей, приходящих в магазин, и т. д.

В М. о. т. имеется ряд предельных теорем, позволяющих выводить поток Пуассона и из иных предпосылок. Если имеет место наложение большого числа независимых малоинтенсивных потоков, то при довольно общих предположениях суммарный поток близок к потоку Пуассона.

Широкое применение, в особенности к задачам обслуживания устройств, подверженных поломкам, получили т. н. потоки с ограничением последействием. Последние характеризуются тем, что интервалы времени между последоват. появлениями требований представляют независимые случайные величины с общей ф-цией распределения $H(x)$ и конечным математич. ожиданием. Поток Пуассона является частным случаем потоков с ограниченным последействием, соответствующим $H(x)$, равной $1-e^{-\lambda x}$ $(x\geqslant 0)$.

В М. о. т. обычно принимается предположение, что длительности элементарных операций, т. е. длительности обслуживания различных требований, представляют последовательность независимых случайных величин с общей ф-цией распределения $F(x)$ и конечным математич. ожиданием. Это предположение хорошо согласуется с действительностью, в особенности там, где операции обслуживания осуществляются автоматич. устройствами.

М. о. т. изучает системы обслуживания, к-рые различаются законами образования входящих потоков, распределением длительности обслуживания, а также дисциплиной обслуживания. По дисциплине обслуживания системы делятся на системы с ожиданием, системы с потерями и смешанные системы. Система с ожиданием состоит из n $(n\geqslant 1)$ обслуживающих приборов и устройства для ожидания, куда попадают те требования, в момент поступления к-рых все n приборов оказываются занятыми. В случае освобождения любого из приборов на него поступает для обслуживания одно из требований, находящихся в устройстве для ожидания. Важнейшей хар-кой системы с ожиданием является среднее время ожидания требования до начала обслуживания: по этой хар-ке можно определить оптим. число приборов при планировании системы. В случае $n=1$ и при простейшем входящем потоке требований со ср. числом λ требований в единицу времени для характеристич. ф-ции $\varphi(t)$ длительности ожидания имеет место ф-ла Хинчина:

$$\varphi(t)=\frac{1-\lambda\tau}{1-\lambda\tau-\lambda\dfrac{1-\psi(t)}{it}},$$

где $\psi(t)$ — характеристич. ф-ция длительности обслуживания одного требования, τ — ср. длительность обслуживания (указ. ф-ла справедлива в предположении, что $\lambda\tau<1$).

Система с потерями характеризуется отсутствием устройства для ожидания; требование, поступившее в момент, когда все приборы заняты, теряется (получает отказ). Для такого рода систем важнейшей хар-кой является вероятность p_n потери (отказа). По ф-ле Эрланга — Форте — Севастьянова при простейшем входящем потоке

$$p_n=\frac{(\lambda\tau)^n}{n!}\Big/\sum_{r=0}^{n}\frac{(\lambda\tau)^r}{r!},$$

где n, λ и τ имеют тот же смысл, что и выше. Указ. ф-ла применяется в задачах телефонии для выбора параметров телефонных станций, при к-рых обеспечивается заданная вероятность отсутствия отказа, т. е. немедленного подключения абонента, пославшего вызов к требуемой линии.

В смешанных системах обслуживания имеется возможность ожидания, подверженного нек-рым ограничениям: либо устройство для ожидания может вмещать огранич. число требований, либо время ожидания или время пребывания каждого требования в системе ограничено некоторой величиной. В случае смешанных систем одни требования обслуживаются до конца, др. теряются до окончания обслуживания, третьи теряются еще до начала обслуживания. Смешанными системами, исследованными в М. о. т., описывается процесс транспортировки скоропортящихся продуктов, обладающих огранич. временем ожидания. На основании ф-лы для вероятности потери можно рассчитать необходимое количество транспорта, при к-ром вероятность потери продукта не будет превосходить заданного уровня. В М. о. т. рассматриваются также системы с неоднородными входящими потоками требований. В таких системах входящий поток состоит из нескольких типов требований, одни из к-рых обладают правом преимуществ. обслуживания по отношению к др. Для систем с неоднородным входящим потоком представляют интерес хар-ки длительности ожидания, вероятность потери и др. для каждого типа требований в отдельности. Получ. аналитич. результаты имеют применения в области связи, медицины, торговли и т. д. Задавшись определ. критерием качества обслуживания требований каждого типа, можно рассчитать оптим. вид преимуществ. обслуживания.

Помимо аналитич. метода, при решении задач МО широко применяется метод статистич. испытаний, особенно эффективный при исследовании сложных систем.

Лит.: Хинчин А. Я., Математические методы теории массового обслуживания, М., 1955 («Тр. Матем. ин-та АН СССР», т. 49); Гнеденко Б. В., Беляев Ю. К. и Коваленко И. Н., Основные направления исследования в теории массового обслуживания, в кн.: Тр. VI Всес. совещания по теории вероятностей и математической статистике, Вильнюс, 1962; Вентцель Е. С., Теория вероятностей, 2 изд., М., 1962; Бусленко Н. П. и Шрейдер Ю. А., Метод статистических испытаний (Монте-Карло) и его реализация на цифровых вычислительных машинах, М., 1961; Розенберг В. Я. и Прохоров А. И., Что такое теория массового обслуживания? М., 1962; Saaty Th. L., Elements of queueing theory, with applications, N. Y., 1961; Pollaczek F., Théorie analytique des problèmes stochastiques relatifs á un groupe de lignes téléphoniques avec dispositif d'attente, P., 1961.

И. Н. Коваленко.

МАСС-СПЕКТРОМЕТР (mass spectrometer; spectromètre de masse; Massenspektrometer) — прибор, в к-ром создаются и регистрируются сфокусированные пучки ионов компонентов вещества, исследуемого для определения изотопного (химич.) состава; по интенсивности этих пучков состав вещества определяется с большой точностью ($\sim 10^{-6}$). М.-с. (рис. 1) состоит из 1) ионного источника *1*, в к-ром исследуемое вещество превращается в ионный пучок *2*, состоящий из частиц с различными значениями энергии и отношения m/q (m — масса иона, $q=ke$ — заряд его, выражаемый в единицах заряда электрона e; целое положит. число k наз. кратностью ионизации); 2) анализатора, в к-ром под совокупным действием электрич. *3* и магнитного *6* полей из полученного пучка образуются сфокусированные пучки *5*, содержащие только ионы с данным отношением m/q, и 3) регистрирующего устройства, служащего для определения интенсивности каждого из таких пучков (ионного тока каждого из компонентов). В результате, учитывая кратность ионизации, получают масс-спектр данного вещества, т. е. связь между массовым числом каждого из компонентов данного материала и его относительной концентрацией (массовое число выражает массу атома через $^1/_{16}$ массы атома изотопа кислорода O^{16}).

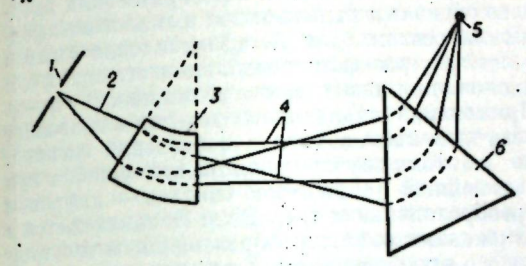


Рис. 1. Схема масс-спектрометра: *1* — ионный источник; *2* — пучок ионов; *3* — электрич. поле цилиндрич. конденсатора; *4* — пучки из разных ионов с одинаковыми энергиями; *5* — сфокусированный пучок ионов с данным m/q; *6* — магнитное поле.

При конструировании ионного источника приходится иметь в виду ряд факторов, учет к-рых необходим для получения достаточно точных масс-спектров. Напр., расход вещества выгодно иметь миним. при достаточно высокой эффективности его использования (т. е. процентного отношения числа ионов, создаваемых в источнике, к общему исходному числу нейтральных атомов; эта величина зависит от материала и характера источника и может меняться от сотых долей % до 20%). Величина интегрального тока источника должна быть не меньше 10^{-11} *а*, причем в случае регистрации электрич. путем существенную роль играет стабильность тока пучка во времени (на протяжении всего анализа). Значительные искажения спектра (размытие линий, появление сплошного спектра) возникают при наличии в области анализатора молекул или атомов газа, напр. воздуха, на к-рых происходит рассеяние ионов пучка; поэтому давление в анализаторе не должно превышать 10^{-6} *мм рт. ст.* Источник сообщается с анализатором посредством выходной щели, вследствие этого давление в нем должно быть не более 10^{-4} *мм рт. ст.*; кроме того, источник должен быть достаточно чистым, чтобы пучок, выходящий из него, содержал только ионы исследуемого материала. Наиболее эффективно образуются положит. ионы, поэтому практически применяемые источники являются источниками положит. ионов.

Для анализа твердых образцов достаточно эффективен источник, в котором ионизация происходит за счет высокочастотного искрового разряда. Два образца из исследуемого материала служат в нем электродами, к к-рым через трансформатор подводится высокочастотное напряжение порядка неск. десятков *кв* и между к-рыми возникает искровой разряд, вызывающий ионизацию образцов; из-за нестабильности искры ионы в этом случае регистрируются фотографич. путем. При анализе газов или паров широко используют источники, в к-рых ионный пучок образуется при воздействии электронного пучка, испускаемого накаленным вольфрамовым катодом, на нейтральный атомный пучок исследуемого газа или пара, к-рый вводится в источник через дозирующее устройство. Электростатич. фокусирующая система (ионная пушка) направляет ионный пучок через выходную щель в анализатор. Возможны и др. способы получения ионного пучка (газовый разряд, термионная эмиссия).

Ионы, вылетающие из источника, попадают в анализатор, в к-ром они подвергаются действию электрич. и магнитного полей; геометрия этих полей рассчитана так, чтобы все ионы с данной величиной m/q собирались в отдельный сфокусированный пучок; поэтому, по аналогии с фокусирующей оптич. системой, анализатор наз. ионнооптич. системой. В анализаторах чаще всего используется комбинация секторного электрич. поля цилиндрич. конденсатора и магнитного поля («двойная фокусировка»). Электрич. поле формирует пучки, состоящие из ионов с разными значениями m/q, но одинаковыми энергиями (это необходимо потому, что из источника вылетают ионы с разными энергиями), а эти пучки, попадая в магнитное поле (направленное перпендикулярно электрич.), преобразуются в пучки, состоящие уже из ионов с различной энергией, но с одинаковым m/q. Благодаря этому и становится возможным получение масс-спектра.

Регистрировать можно либо одновременно все ионные пучки, выходящие из анализатора (обычно — фотографич. путем, так что весь прибор получает название масс-спектрографа), либо поочередно каждый из таких пучков (электрич. путем, прибор наз. собственно М.-с.). При фотографич. регистрации масс-спектр, получаемый на фотопластинке, весьма сходен с оптич. эмиссионными спектрами (рис. 2, *а*). По положению

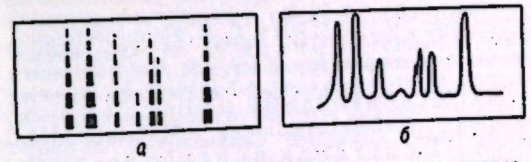


Рис. 2. Участок масс-спектра, получаемого: *а* — в масс-спектрографе; *б* — в масс-спектрометре.

линий спектра определяются массовые числа (при этом нужно учитывать кратность ионизации), а по интенсивности их (т. е. по степени почернения) — концентрация соответствующих компонентов исследуемого материала. Для получения количественных результатов необходимо точно знать хар-ки фотоэмульсионного слоя (зависимость степени его почернения от экспозиции, зависимость чувствительности слоя от массы падающих на него ионов и т. п.). Благодаря интегрирующим (по времени) свойствам фотоэмульсии этот метод регистрации не нуждается в стабильной работе ионного источника.

При электрич. регистрации один из пучков, выходящий из анализатора, попадает на электрод, наз. коллектором; по величине заряда коллектора можно судить о величине ионного тока. Изменяя напряженность магнитного поля в анализаторе, можно поочередно направлять на коллектор различные пучки, выходящие из анализатора, и получить таким путем весь масс-спектр исследуемого вещества (рис. 2, *б*). Для измерения величины заряда коллектора применяют обычно какую-либо из электрометрич. схем либо усилители пост. или перем. тока (в последнем случае источник должен создавать модулированный пучок).

Расшифровка масс-спектра затрудняется наличием многократно ионизированных атомов, заряженных комплексов, содержащих несколько атомов, рассеянием в анализаторе и др. Высокая чувствительность и разрешающая способность обусловливают очень широкое применение М.-с. в науке и в производстве. Посредством М.-с. определяют состав жидких и газовых смесей, металлич. и ПП материалов, причем возможна полная автоматизация процесса анализа. Анализ сложных углеводородов с помощью М.-с. (напр., в нефтяной промышленности) осуществляется значительно быстрее, чем др. методами, при той же (и даже более высокой) точности. Использование М.-с. в газовом анализе позволяет с большой точностью контролировать атмосферу в печах отжига, чистоту газа, к-рым наполняют газоразрядные трубки, электрич. кабели и др. Широко применяются масс-спектрометрич. течискатели (с малой разрешающей способностью, но с высокой чувствительностью), обнаруживающие в герметич. газопроводах и т. п. чрезвычайно слабые течи (при этом т. н. индикаторный газ просачивается через течь и регистрируется М.-с.). М.-с. незаменим при исследованиях методом меченых атомов посредством стабильных, а не радиоактивных изотопов (напр., в биохимии). В химии М.-с. служит для изучения кинетики и механизма химич. реакций, катализа, для определения энергий разрыва молекулярных связей в сложных молекулах. В геологии и геохимии большое распространение получили масс-спектрометрич. методы определения геологич. возраста пород и минералов.

Лит.: Астон Ф. В., Масс-спектры и изотопы, пер. с англ., М., 1948; Рик Г. Р., Масс-спектроскопия, М., 1953; Барнард Д. Ф., Современная масс-спектрометрия, пер. с англ., М., 1957; Advances in mass spectrometry, L. [a. o.], 1959. *М. М. Горшков.*

МАСШТАБИРОВАНИЕ (scaling; proportionnement; Maßstabanpassung, Maßstabeinführung) 1) В системах контроля — линейное преобразование цифрового или аналогового сигнала, отображающего контролируемую физич. величину, для установления пост. отношения между ней и отображающим ее сигналом во всем рабочем диапазоне контролируемой величины. М. требуется, как правило, в системах контроля, на вход к-рых поступают сигналы более чем одной контролируемой величины, в частности при *контроле обегающем*. Напр., на один и тот же узел системы контроля, имеющий аналоговый вход и цифровой выход, могут поступать в разное время две контролируемые величины X_1 и X_2. Если цифровое значение контролируемой величины X_1 должно составлять Y_1 единиц, то масштаб шкалы равен $M_1=Y_1/X_1$. Чтобы при подведении к этому общему узлу сигнала x_1, связанного с контролируемой величиной соотношением $x_1=k_1X_1+c_1$, во всем рабочем диапазоне X_1 соблюдался масштаб M_1, общий узел должен выполнять преобразование $Y=m(x_1-a)$, где $m=M_1/k_1$, а $a=c_1$. Для X_2 соответственно:

$$M_2=Y_2/x_2;\ x_2=k_2X_2+c_2;$$

в общем случае M_2 не равен M_1. Для получения масштаба шкалы M_2 при преобразовании величины X_2 требуется М.; оно может состоять либо в дополнит. преобразовании значения x_2 до получения равенства $x_2=x_1$ во всем рабочем диапазоне, либо в соответствующем изменении коэфф. преобразования m и a. При отсутствии цифрового преобразования М. оказывается необходимым для получения одинакового коэфф. преобразования $M=x_i/X_i$ в том случае, когда в системе контроля выполняется в той или иной форме сложение неск. сигналов x_i.

М. путем дополнит. преобразования входного сигнала x выполняется в аналоговой форме: оно состоит (для М. x_2) в усилении сигнала в $\alpha=k_2/k_1$ раз (или ослаблении его при $\alpha<1$) и сложении его с пост. величиной $\beta=c_2-c_1$. Применение аналогового делителя позволяет получить весьма точное ослабление сигнала, но в этом случае повышается ошибка при дальнейшей обработке сигнала — цифровом преобразовании и т. д. Если М. заключается в изменении коэфф. преобразования m и a цифрового преобразователя, то оно может выполняться как над аналоговым, так и над цифровым сигналом. В первом случае можно либо подвергнуть преобразованию сигнал x на входе цифрового преобразователя, увеличив коэфф. m в α раз, а постоянную a—на величину β, либо изменить эталонный сигнал, с к-рым сравнивается сигнал x в преобразователе, вычтя из него величину β и уменьшив его в α раз. Цифровое М. сводится в общем случае к прибавлению разности β и умножению на коэфф. α методами, принятыми в цифровой технике. Т. к. умножение существенно упрощается при нек-рых целых значениях α, целесообразно применением делителей неск. уменьшить x, так чтобы коэфф. α оказался равным одному из ряда принятых для него целых чисел. При двоичном коде удобен ряд значений $\alpha=2^n$, где n — целое число, т. е. умножение числа на 2^n в двоичном коде сводится к сдвигу этого числа на n разрядов. При развертывающем цифровом преобразовании со счетом импульсов, поступивших от начала развертки до момента компенсации преобразуемого и эталонного сигналов, М. может быть выполнено введением пересчетных делителей частоты на входе пересчетной схемы, отсчитывающей импульсы. Напр., различные сочетания трех пересчетных делителей с коэфф. пересчета 2,2 и 3 позволяют получить для α ряд 2, 3, 4, 6, 12, что обеспечивает достаточно полный набор шкал на выходе цифрового преобразователя. М. в общем узле связано с необходимостью переключения масштабирующих цепей, поэтому при прочих равных условиях бо́льшую точность дает цифровое М., при к-ром переключение масштабирующих цепей не вносит дополнит. погрешности.

И. М. Шенброт.

2) В цифровых вычислительных машинах — совокупность приемов, применяемых при решении задач для получения такой последовательности вычислений, при к-рой исходные данные и результаты не выходят за границы диапазона представимых на ЦВМ чисел. М. заключается в замене величин, участвующих в вычислениях, их произведениями на т. н. масштабные множители. Чаще всего М. приходится применять при решении задач на машинах с *запятой фиксированной*. На таких машинах все числа x_i, отличные от нуля, должны, как правило, удовлетворять неравенству:

$$2^{-n}\leqslant|x_i|<1,$$

где n — разрядность чисел, с к-рыми оперирует машина. Имеются в виду машины с запятой, фиксированной перед старшим разрядом, использующие двоичную систему счисления. Осн. рекомендации данной статьи переносятся на любую систему счисления.

Числа, бо́льшие или равные по абс. значению единице, не имеют представления в машине, а числа, меньшие по абс. значению, чем 2^{-n}, не будут отличаться в машине от нуля (машинный нуль). Более того, числа, имеющие представление в машине, но близкие по абс. величине к нижней границе данного интервала, будут представлены в машине с весьма низкой относит. точностью. Если величина, бо́льшая или равная по абс. значению единице, получается в процессе вычисления, то говорят, что произошло переполнение разрядной сетки машины. В этом случае происходит остановка машины или потеря старших значащих цифр результата. Для избежания этого вместо каждой такой величины x_i вводят др. величину X_i, связанную с ней соотношением:

$$x_i=\lambda_iX_i, \qquad (1)$$

где λ_i— константа, т. н. масштабный множитель, к-рый подбирается т. о., чтобы величина X_i была представлена с достаточной относительной точностью и чтобы в процессе вычислений не произошло переполнения. Поэтому λ_i должна удовлетворять неравенству

$$\lambda_i>\max|x_i|.$$

Величины X_i могут быть непосредственно изображены в машине. Для того чтобы использовать эти величины, необходимо соответствующим образом изменить и все расчетные ф-лы, т. е. произвести замену переменных по соотношению (1). В преобразов. ф-лах могут появиться новые константы, зависящие от масштабных множителей. Они также должны иметь представление в машине, т. к. будут участвовать в вычислениях. Если это условие не выполнено, то потребуется дополнит. изменение (увеличение) отдельных масштабных множителей, от к-рых зависят соответствующие константы. Масштабные множители необходимо вводить для всех величин, не имеющих представления в машине, в т. ч. для всех промежуточных результатов. Границы изменения ряда переменных могут быть выражены через границы изменения нек-рых др. переменных, но т.к. при этом приходится учитывать самые худшие случаи (может быть, даже и нереальные), то это часто приводит к получению весьма грубых (завышенных) границ.

Пример. Пусть нужно вычислить величину x по ф-ле: $x=(y_1+y_2)y_3+y_4$, где $|x|<10$, $|y_1|<0{,}0005$, $|y_2|<0{,}001$, $|y_3|<10000$, $|y_4|<25$. Введем новые переменные с помощью соотношений $x=\lambda_0X$, $y=\lambda_iY_i$ для $i=1, 2, 3, 4$. Тогда вышеуказанную ф-лу можно привести к виду:

$$X=(\lambda_1Y_1+\lambda_2Y_2)\tfrac{\lambda_3}{\lambda_0}Y_3+\tfrac{\lambda_4}{\lambda_0}Y_4.$$

Здесь целесообразно принять $\lambda_1=\lambda_2=\lambda$ так, чтобы выполнялось неравенство:

$$|Y_1+Y_2|<1,$$

а также принять $\lambda_0=\lambda_4$. Тогда ф-ла для вычисления X примет вид:

$$X=(Y_1+Y_2)\mu Y_3+Y_4,$$

где $\mu=\lambda\lambda_3/\lambda_0$. Если принять $\lambda=0{,}0015$, $\lambda_3=10000$ и $\lambda_0=25$, то $\mu=^3/_5$.

Рассмотренный метод выполнения вычислений на машинах с фиксиров. запятой наз. методом масштабных (постоянных) множителей. На практике чаще применяется видоизменение этого метода — метод постоянных масштабов, в к-ром в качестве масштабных множителей λ_i берутся не любые числа, а лишь числа вида: $\lambda_i=2^{p_i}$, где p_i— целое положительное, отрицательное или равное нулю число. Соотношение (1) в данном случае примет вид:

$$x_i=X_i2^{p_i},\ |X_i|<1, \qquad (2)$$

где X_i наз. цифровой частью, или мантиссой x_i, а p_i — ее двоичным масштабом, или порядком.

В вычислениях по-прежнему будут участвовать X_i, а p_i остаются неизменными. Поэтому, зная X_i, в любой момент можно определить величину x_i из соотношения (2).

Здесь также необходимо соответствующим образом изменить (промасштабировать) расчетные ф-лы. При этом в преобразов. ф-лах могут появиться новые константы вида 2^k, где k — целое число, зависящее от масштабов (порядков) нек-рых величин. Числа k представляются в машине в виде условных чисел, напр. в единицах младшего разряда адресной части команды, а умножение на 2^k заменяется операцией сдвига на k разрядов.

Представление величин в форме ур-ния (2) позволяет процесс вычислений сделать более простым, чем в случае представления их в форме ур-ния (1).

Метод масштабных множителей (пост. масштабов) имеет ряд существенных недостатков. Поскольку в практич. задачах, как правило, заранее нельзя точно определить диапазон изменения той или иной величины, то масштабные множители (масштабы) подбираются обычно довольно грубо, что сильно снижает точность вычислений. Введение масштабов усложняет и процесс подготовки и программирования задач, особенно в связи с тем, что каждая ошибка в определении масштабов к.-л. величин может потребовать повторного М. Поэтому этот метод используется, в основном, при составлении нек-рых стандартных и типовых программ, когда время счета оказывается решающим фактором.

Более удобным для программирования на машинах с фиксиров. запятой является метод плавающих масштабов, к-рый упрощает подготовку задачи к решению на машине и позволяет повысить точность вычислений по сравнению с рассмотр. методами.

Сущность метода плавающих масштабов заключается в следующем. Как и в методе пост. масштабов, часть величин, участвующих в вычислениях, представляется в виде (2), только порядки (масштабы) величин будут храниться в памяти машины (в виде условных чисел) и могут изменяться в процессе вычислений. Весь процесс вычислений разбивается на ряд этапов, на каждом из к-рых масштабы величин остаются постоянными. При переходе от одного этапа вычислений к др. спец. подпрограмма при выполнении некоторых условий производит автоматическое изменение масштабов ряда величин. Мантиссы величин, участвующих в вычислениях, могут многократно («непрерывно») изменяться на каждом из этапов.

Условия, к-рые определяют смену масштабов, заключаются в том, что каждая величина X_i после смены масштабов должна удовлетворять неравенству:

$$0<r\leqslant|X_i|<R\leqslant 1, \qquad (3)$$

где R подбирается т. о., чтобы в процессе вычислений на очередном этапе не произошло переполнения, а величина r — из соображений точности вычислений. Если к.-л. величина x_i в процессе изменения становится сравнительно небольшой по абс. значению, то иногда не нужно проверять выполнение условий $r\leqslant|X_i|$, чтобы «не мешать» величине x_i перейти через нуль в процессе своего изменения (точное представление слишком малых величин часто не повышает точности вычислений).

Процесс проверки условий (3) и соответствующее изменение масштаба наз. н о р м а л и з а ц и е й величин x_i. Если условие (3) выполнено для величин x_i, то эта величина называется н о р м а л и з о в а н н о й. Ф-лы, определяющие вычисления на каждом из этапов, должны быть промасштабированы так как это делалось и для метода пост. масштабов. Но в данном случае этот процесс оказывается значительно более простым, т. к. М. будет касаться не всей задачи в целом, а лишь ее отдельных этапов, причем само разбиение задачи на этапы может производиться, исходя из соображений удобства М. Задача М. здесь облегчается и тем, что на вход каждого этапа вычислений поступают нормализов. величины (всегда можно считать, что исходные данные также заданы в нормализов. виде). Поэтому по расчетным ф-лам не трудно определить возможные границы изменения переменных и преобразовать соответствующим образом расчетные ф-лы, а также выбрать конкретные значения величин r и R соотношения (3). Часто бывает целесообразным задавать один общий масштаб для целой группы величин (напр., один масштаб для всех компонент одного вектора). Тогда при смене этого масштаба проверяют выполнение условия (3) только для наибольшей по абс. значению величины из этой группы.

Метод пост. масштабных множителей по существу является частным случаем метода плавающих масштабов, когда вся задача составляет один этап вычислений. Если производят нормализацию результата после выполнения каждого арифметич. действия над величинами, представл. в виде (2), то фактически вводит программным путем режим плавающей запятой. Др. словами, режим плавающей запятой является также частным случаем метода плавающих масштабов, когда выполнение каждой арифметич. операции составляет один этап вычислений. В режиме плавающей запятой обеспечивается сравнительно высокая точность вычислений, сильно упрощается процесс составления программы, но значительно замедляется процесс счета в том случае, когда этот режим вводится программным путем. В то же время многие ф-лы можно несложным образом преобразовать к виду, позволяющему выполнять вычисление по группе из таких ф-л без изменения масштабов величин, участвующих в вычислениях, примерно с той же точностью, что и в режиме плавающей запятой, но значительно быстрее.

Проиллюстрируем данный метод на примере решения системы линейных алгебраич. ур-ний методом Гаусса с выбором гл. элемента. Реализация этого метода сводится к выполнению n последовательных преобразований матрицы коэфф. $\|a_{ij}\|$ и правых частей b_i, $i=1,\ldots,n$, где n — порядок системы. Для каждого такого преобразования: а) находится наибольший по абс. значению коэфф. $a_{i_0j_0}$; б) вычисляются коэфф. a'_{ij} новой матрицы по формулам:

$$\left.\begin{aligned} a'_{ij}&=a_{ij}-\frac{a_{i_0j}a_{ij_0}}{a_{i_0j_0}},\ j=1,\ldots,\ n,\ i\neq i_0,\\ a'_{i_0j}&=\frac{a_{i_0j}}{a_{i_0j_0}},\ j=1,\ldots,\ n;\end{aligned}\right\} \qquad (4)$$

в) вычисляются новые значения b'_i правых частей системы по ф-лам:

$$b'_i=b_i-\frac{b_{i_0}a_{ij_0}}{a_{i_0j_0}},\ i\neq i_0,$$
$$b'_{i_0}=b_{i_0}/a_{i_0j_0}.$$

Осн. часть рабочего времени машины при решении этой задачи уходит на выполнение действий, указанных в первых двух пунктах. Для того чтобы при выполнении этих действий можно было воспользоваться методом плавающих масштабов, представим коэфф. a_{ij} в виде $a_{ij}=2^{p_i}A_{ij}$, т. е. будем задавать один масштаб для целой строки матрицы $\|a_{ij}\|$. Тогда ф-лы (4) примут вид:

$$a'_{ij}=2^{p_i}A'_{ij}=2^{p_i}\left(A_{ij}-\frac{A_{i_0j}A_{ij_0}}{A_{i_0j_0}}\right),$$
$$a'_{i_0j}=2^{1}A'_{i_0j_0}=2^{1}\left(\frac{A_{i_0j}\,2^{p_i}}{2A_{i_0j_0}2^{p_i}}\right)$$

или

$$\left.\begin{aligned} A'_{ij}&=A_{ij}-\frac{A_{i_0j}A_{ij_0}}{A_{i_0j_0}},\\ A'_{i_0j}&=\frac{A_{i_0j}}{2A_{i_0j_0}}.\end{aligned}\right\} \qquad (5)$$

Для того чтобы не произошло переполнение при вычислении по этим ф-лам, достаточно для наибольшего по абс. значению элемента каждой строки соблюдать следующее неравенство:

$$\tfrac{1}{4}\leqslant|A_{ij}|<\tfrac{1}{2},$$

к-рое можно использовать вместо неравенства (3) при нормализации величин a_{ij}. Вместо гл. элемента будем искать «почти» гл. элемент $a_{i_0j_0}$ следующим образом: находим строки с наибольшим порядком p_{i_0} (или хотя бы одну из таких строк); находим в строке i_0 элемент с наибольшей по абс. значению мантиссой $A_{i_0j_0}$ и принимаем в качестве «почти» гл. элемента коэфф. $a_{i_0j_0}=2^{p_{i_0}}A_{i_0j_0}$. Такой поиск «главного» элемента практически не снижает точности получения решения, но сильно ускоряет процесс счета.

Преобразование правых частей системы можно производить в режиме плавающей запятой, т. к. это несильно повлияет на общее время решения задачи.

Т. о., здесь один этап вычислений будет составлять весь процесс однократного преобразования матрицы, при выполнении к-рого осн. часть вычислений будет выполняться в режиме фиксиров. запятой (при неизменных масштабных), а после выполнения данного этапа вычислений производится нормализация коэфф. матрицы, вернее «нормализация» каждой ее строки.

Лит.: М а к-К р а к е н Д. Д., Программирование для цифровых вычислительных машин, пер. с англ., М., 1960; Ж о г о л е в Е. А., Опыт работы на машине М-2 с автоматическим учетом масштабов, в кн.: Конференция «Пути развития советского математического машиностроения и приборостроения», ч. 3, М., 1956; Система стандартных подпрограмм, под ред. М. Р. Шура-Бура, М., 1958. *Е. А. Жоголев.*

МАТЕМАТИКА ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ — см. *Вычислительная математика.*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛИНГВИСТИКА — см. *Лингвистика математическая.*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЛОГИКА — см. *Логика математическая.*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ЭКОНОМИКА — математические методы решения экономич. задач. См. *Математическое программирование.*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ (mathematical programming; programmation mathématique; mathematische Programmierung) — математич. дисциплина, разрабатывающая теорию и методы решения условных экстрем. задач. Осн. особенность задач М. п., отличающая их от условных экстрем. задач классич. анализа, — наличие неравенств среди ограничений, определяющих область изменения переменных задач. Известные методы решения задач на условный экстремум с помощью т. н. множителей Лагранжа здесь непосредственно неприменимы. Использование классич. методов дифференц. исчисления для решения задач М. п. (даже при относительно небольшом числе переменных и ограничений) требует решения огромного количества условных экстрем. задач с ограничениями-равенствами и сравнения между собой значений оптимизируемой ф-ции в получ. при этом экстрем. точках. Производительность совр. и даже перспективных ЦВМ не обеспечивает решения задач М. п. классич. методами.

М. п. является осн. частью формального анализа разнообразных задач управления и планирования. Задачи планирования экономики и управления техникой сводятся обычно к выбору совокупности чисел (т. н. параметров управления), обеспечивающих экстремум нек-рой ф-ции (целевой ф-ции или показателя качества решения) при ограничениях вида равенств или неравенств, определяемых условиями работы системы. Обычно физич. смысл параметров управления заставляет предполагать все переменные или часть их неотрицательными. Условия неотрицательности переменных играют особую роль при построении методов М. п. Поэтому их выделяют из общей системы условий. Т. о., в задачах М. п. требуется вычислить вектор $X=(x_1, x_2, \ldots, x_n)$, обращающий в максимум или в минимум (в зависимости от постановки задачи) ф-цию

$$f(X)=f(x_1, x_2, \ldots, x_n) \qquad (1)$$

при условиях

$$g_i(x_1, x_2, \ldots, x_n)=0,\ i=1, 2, \ldots, m_1, \qquad (2)$$
$$g_i(x_1, x_2, \ldots, x_n)\leqslant 0,\ i=m_1+1, \ldots, m, \qquad (3)$$
$$x_j\geqslant 0,\ j=1, 2, \ldots, n_1\leqslant n. \qquad (4)$$

В зависимости от свойств ф-ций f и g_i М. п. разделяется на ряд частных, в различной мере разработанных дисциплин. Задачи, в к-рых f и g_i — линейные ф-ции переменных x_j, составляют предмет *линейного программирования.* Задачи, в к-рых показатель качества решения f или нек-рые из ф-ций g_i нелинейны, относятся к *нелинейному программированию.* Нелинейное программирование в свою очередь делится на выпуклое и невыпуклое программирование. *Выпуклое программирование* изучает задачу определения максимума выпуклой вверх ф-ции на выпуклом множестве (или минимум выпуклой вниз ф-ции на выпуклом множестве). Особенность задач выпуклого программирования, существенно упрощающая методы анализа и вычислит. схемы, — совпадение локального и глобального экстремумов. В теории выпуклого программирования подробнее других разработаны методы *квадратичного программирования.* Вычисление глобального экстремума в задачах невыпуклого программирования требует определения всех локальных экстремумов и сравнения соответствующих значений показателей качества решения задачи. Общих методов решения невыпуклых нелинейных задач М. п. до сих пор нет. Рассматриваются гл. обр. приближ. методы решения частных классов невыпуклых экстрем. задач.

В зависимости от того, являются ли исходные параметры, характеризующие условия задачи, вполне определ. числами или случайными величинами, М. п. разделяется на дисциплины, изучающие методы управления и планирования в условиях полной информации и в условиях неопределенности. Методы решения условных экстремальных задач при наличии случайных параметров в условиях задачи наз. *стохастическим программированием.*

Решение задач, связанных с использованием некоторых стандартов, когда параметры управления по своему физич. смыслу могут принимать лишь огранич. число дискретных значений, составляет раздел М. п., наз. *целочисленным программированием.* К целочисленному программированию сводится решение большого числа комбинаторных нелинейных невыпуклых условных экстрем. задач.

В ряде случаев исходные параметры задачи могут изменяться в нек-рых пределах. В связи с актуальностью исследования влияния вариации отдельных параметров показателя качества и ограничений на решение задачи возникло *параметрическое программирование.*

Структура и производительность современных ЦВМ ограничивают возможности решения задач М. п. с большим числом переменных и условий. Новое направление в М. п. — блочное программирование — изучает возможности точного или приближ. получения оптим. плана задачи больших размеров по решениям ряда частных задач с меньшим числом переменных и ограничений.

Представление о задачах М. п. можно получить по следующим примерам.

1) С т а т и ч е с к а я м о д е л ь н а р о д н о х о з я й с т в е н н о г о п л а н и р о в а н и я и э к с т р а п о л я ц и и э к о н о м и ч е с к и х п о к а з а т е л е й. Возможности развития экономики определяются наличными ресурсами, установившимися межотраслевыми связями и отработанными технологич. процессами произ-ва. Пусть j-я отрасль экономики ($j=1, 2,\ldots, n$) имеет l_j технологич. способов произ-ва; x_{sj} — годовая продукция j-й отрасли при s-м способе произ-ва ($s=1, 2,\ldots, l_j$); y_i — объем продукта личного или обществ. потребления, выпускае-

мый i-й отраслью за год; a_i и b_i — миним. и макс. годовые потребности в i-м продукте потребления; $a_{ij}^{(s)}$ — количество продукции i-й отрасли, необходимое для произ-ва единицы продукции j-й отрасли при s-м способе произ-ва. Условия, ограничивающие выпуск производств. фондов и продуктов потребления, записываются в виде

$$\sum_{s=1}^{l_i} x_{si} - \sum_{j=1}^{n} \sum_{s=1}^{l_j} a_{ij}^{(s)} x_{sj} = y_i, \quad i=1, 2, \ldots, n, \quad (5)$$

$$x_{sj} \geqslant 0; \quad a_i \leqslant y_i \leqslant b_i; \quad i, j=1, 2, \ldots, n. \quad (6)$$

Цель социалистич. произ-ва — макс. удовлетворение потребностей трудящихся. Оптим. народнохозяйств. планирование должно обеспечивать наибольшее значение т. н. целевой ф-ции потребления $u=u(y_1, \ldots, y_n)$, позволяющей сравнивать и сопоставлять между собой удовлетворение, получаемое населением от различных благ. Т. о., задача народнохозяйств. планирования сводится к вычислению параметров x_{sj} и y_i $(i, j=1, 2, \ldots, n; s=1, 2, \ldots, l_j)$, удовлетворяющих ограничениям (5), (6) и обращающих в максимум целевую ф-цию потребления $u(y_1, y_2, \ldots, y_n)$. Это — задача М.п. Она сводится к задаче линейного программирования, если под ф-цией $u(y_1, \ldots, y_n)$ понимать, напр., число комплектов благ, взятых в определенном, заранее указанном ассортименте. Более точный учет потребления требует рассмотрения нелинейной ф-ции $u(y_1, \ldots, y_n)$. В этом случае задача планирования является предметом нелинейного программирования. В практике планирования приходится иметь дело с большим числом отраслей экономики и технологич. способов произ-ва. Решение подобных задач на совр. ЦВМ требует применения методов блочного программирования.

2) Задача о повышении надежности электронных машин посредством рациональной системы дублирования отдельных блоков. Рассматривается машина, состоящая из n блоков и работоспособная лишь в случае исправности всех блоков. Вероятность по крайней мере одного отказа j-го блока $(j=1, 2, \ldots, n)$ в течение заданного промежутка времени равна q_j. Пусть a_{1j}, a_{2j}, a_{3j}, a_{4j}, a_{5j} — длина, ширина, высота, вес и стоимость j-го блока, а b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 — допустимые значения тех же хар-к для всей машины. Задача состоит в определении чисел

$$x_j \geqslant 1 \quad (j=1, 2, \ldots, n) \quad (7)$$

блоков j-го типа, работающих в параллель и обеспечивающих макс. вероятность

$$W(X) = (1-q_1^{x_1})(1-q_2^{x_2}) \ldots (1-q_n^{x_n}) = \prod_{j=1}^{n} (1-q_j^{x_j}) \quad (8)$$

безотказной работы машины при заданных допустимых пределах ее габаритов, веса и стоимости

$$\sum_{j=1}^{n} a_{ij} x_j \leqslant b_i, \quad i=1, 2, \ldots, 5. \quad (9)$$

Задача (8), (7), (9) является задачей М. п. Условия задачи (9) и (7) — линейны, а показатель качества (8) решения — нелинейная ф-ция $W=W(x_1, \ldots, x_n)$, строго выпуклая кверху. Поэтому задача имеет единств. решение (если ее условия совместны). По своему физич. смыслу переменные x_j — количества блоков j-го типа — целые числа. Следовательно, сформулиров. задача является задачей выпуклого целочисл. программирования.

3) Расчет экономичного распределения мощностей в энергосистеме при заданных ограничениях режима. Пусть сеть, в контурах к-рой нет последовательно включенных эдс, содержит n узловых точек — источников и потребителей энергии. Обозначим через I_j' и I_j'' $(j=1, 2, \ldots, n)$ вещественные и мнимые составляющие токов в узловых точках, а через r_{ij} и x_{ij} — значения активного и реактивного сопротивлений линии (i, j). Величины активных (P_j) и реактивных (Q_j) мощностей определяются соотношениями:

$$P_j = u_0 I_j' + I_j' \left(\sum_{i=1}^{n} I_i' r_{ji} - \sum_{i=1}^{n} I_i'' x_{ji} \right) + I_j'' \left(\sum_{i=1}^{n} I_i' x_{ji} + \sum_{i=1}^{n} I_i'' r_{ji} \right);$$

$$Q_j = -u_0 I_j'' + I_j' \left(\sum_{i=1}^{n} I_i' x_{ji} + \sum_{i=1}^{n} I_i'' r_{ji} \right) + I_j'' \left(-\sum_{i=1}^{n} I_i' r_{ji} + \sum_{i=1}^{n} I_i'' x_{ji} \right).$$

Условия баланса токов в базисной точке записываются в виде

$$\sum_{j=1}^{n} I_j' = 0; \qquad \sum_{j=1}^{n} I_j'' = 0$$

(u_0 — фиксиров. напряжение базисного узла). Предполагаем заданными активные и реактивные мощности потребителей, допустимый диапазон изменения активных и реактивных мощностей источников и величины комплексных сопротивлений всех линий; требуется вычислить токи I_j' и I_j'' в сети, при к-рых обеспечивается минимум суммарных расходов на электростанциях системы. Расходы каждой электростанции предполагаются заданной ф-цией ее активной мощности. В задаче могут быть и дополнит. ограничения, напр. требование фиксиров. модуля напряжения на одних узлах и фиксиров. диапазона изменения модуля напряжения на других узлах. Сформулиров. задача представляет собой общую задачу М. п., в к-рой показатель качества и часть ограничений определяются нелинейными, вообще говоря, невыпуклыми ф-циями искомых переменных.

В М. п. и его приложениях интенсивно разрабатываются три круга вопросов.

Математические проблемы. Развиваются математич. методы решения определ. классов экстрем. задач, устанавливаются связи с др. математич. дисциплинами. Помимо итеративных методов вычисления локальных экстремумов и попыток упорядочить их перебор для решения нелинейных экстрем. задач, начинают также применяться различные варианты случайного поиска (*Монте-Карло метод*).

Вычислительные проблемы. Отрабатываются вычислит. алгоритмы, отвечающие различным математич. методам М.п., учитываются особенности ЦВМ, изучаются способы, устраняющие или уменьшающие накопление погрешностей вычислений, рассматриваются возможности использования физич. аналогов задач М. п., в частности электрич. цепей с нелинейными сопротивлениями.

Прикладные проблемы. Исследуются математич. модели, построенные для экономич., технич. и др. задач, систематизируются и обобщаются необходимые исходные данные. Анализ результатов вычислений позволяет совершенствовать модели. Опыт, накопл. в приложениях, используется в качестве эвристич. основы для разработки новых методов М. п.

Перечисл. проблемы не являются независимыми. Математич. модели приспосабливаются, насколько это возможно, под существующие методы (напр., линеаризация условий и показателей качества). Отработ. алгоритмы способствуют оценке и улучшению методов. Новые методы расширяют класс исследуемых моделей и упрощают вычислит. схемы. Эксперимент на ЦВМ в М. п. — такое же орудие исследования, как и теоретич. построения.

Лит.: Денинс Дж. Б., Математическое программирование и электрические цепи, пер. с англ., М., 1961; Зойтендейк Г., Методы возможных направлений, пер. с англ., М., 1963; Эррроу К. Дж., Гурвиц Л., Удзава Х., Исследования по линейному и нелинейному программированию, пер. с англ., М., 1962.

Д. Б. Юдин.

МАШИННЫЙ НУЛЬ (machine zero; zéro de machine; Maschinen-Null) — отличное от нуля число, воспринимаемое машиной как нуль. М. н. возникает за счет ограниченности диапазона представимых в машине чисел, вследствие чего в процессе вычислений могут появиться такие числа, к-рые меньше по абс. величине миним. представимого в машине числа (с учетом округления результата в АУ). М. н. могут возникать в машинах с любой формой представления чисел, но особенно часто в машинах с *запятой фиксированной*. Образование М. н. может привести к потере точности, если возникающая абс. погрешность больше допустимой в данной задаче и на данном этапе вычислений. Возможность образования М. н. устраняют либо введением масштабных коэфф. (см. *Масштабирование*, 2), либо, когда это возможно, изменением порядка выполнения арифметич. действий. Пусть, напр., при вычислении произведения $a \cdot b$ в ф-ле $x=a \cdot b+c$ образуется М. н., и при этом теряется требуемая точность. Тогда вместо вычисления x производят вычисление величины xk, напр., по ф-ле $\bar{a} \cdot b + \bar{c}$, где $\bar{a}=ak$; $\bar{c}=ck$ и $k>1$. В качестве 2-го примера рассмотрим влияние порядка выполнения действия при вычислении произведения $x=a \cdot b \cdot c$, если при нек-рых из возможных значений a и b произведение $a \cdot b$ меньше, но x всегда больше минимального представимого в машине числа. В этом случае порядок действий должен быть следующим: 1) $a \cdot c=Z$, 2) $Z \cdot b=x$.

Г. А. Миронов.

МАШИННЫЙ ПЕРЕВОД [machine translation; traduction par machine (traduction automatique); maschinen Übersetzung] — перевод с одного языка (естественного или искусственного) на другой (естественный или искусственный), осуществляемый на ЭВМ. Конечная цель работ по М. п. — включение вычислит. машин в сеть каналов связи, образующих совр. об-во, путем автоматизации всех операций, к-рые человек производит над языком. Отдельные этапы, необходимые для решения этой задачи, представляют самостоят. практич. и теоретич. интерес; эксперимент. осуществление каждого из этих этапов находится на различных стадиях.

Практич. работы по М. п. еще не вышли из опытной стадии. Систематическая эксплуатация машины для М. п. осуществляется в США на газетном тексте, причем качество получаемого перевода еще очень невысоко (использован т. н. пословный М. п.). Выполнен целый ряд успешных опытов по М. п. отрывков текста. Эти опыты и состояние разработок в области М. п. позволяют надеяться на получение в ближайшем будущем М. п., правильно передающего смысл большей части текста. Многое зависит от успешного составления точных грамматич. описаний и словарей для М. п. Для их составления необходима спец. машинная обработка текстов больших объемов. Ряд работ в последние годы посвящен М. п. с учетом смысловых хар-к слов. Такого рода М. п. связан с записью текстов на языке-посреднике, однозначно передающем смысл текста. Такая запись текста (смысловое кодирование) позволит не только осуществлять М. п., но и производить др. виды автоматич. обработки текстов (реферирование, сравнение текстов для определения новизны, аннотирование и т. п.). Для такого М. п. необходимо в первую очередь составление спец. словарей — т. н. тезаурусов (thesaurus), отражающих смысловые связи слов данного языка. Имеющиеся в настоящее время тезаурусы явно недостаточны для М. п., и поэтому необходимо составление тезаурусов, специально предназначенных для М. п., а также словарей для текстов по определ. отраслям науки. Широкое использование смысловых хар-к позволит существенно улучшить качество М. п., а методы анализа смысла слов для целей М. п. найдут безусловно и др. применения.

Ниже описывается состояние разработки различных стадий М. п.

Ввод текста в машину. Согласно мнению ряда специалистов, всем этапам собственно М. п. должен предшествовать этап предредактирования, т. е. такой предварит. обработки текста вручную, при к-рой он приспосабливается к требованиям, налагаемым программой М. п. (унификация орфографии, напр., сведение воедино заглавных и строчных букв, выделение ф-л и т. п.). Для М. п. каждое слово должно быть представлено в виде набора чисел; текст кодируется побуквенно, причем каждая буква заменяется k-значным кодом (обычно двоичным), а закодированные побуквенно слова разделяются особым кодом пробела. Письм. тексты, предназнач. для М.п., переводятся в цифровой код вручную, что является наиболее медленным этапом всего процесса. В дальнейшем предполагается использовать для автоматизации ввода текста в машину специализиров. читающие устройства (первоначально рассчитанные на определ. шрифт). Аналогичные работы ведутся по автоматизации ввода устной речи, но реально имели место только опыты М. п. письм. текстов. Закодированный вручную текст вводится в машину либо по группам, каждая из к-рых содержит столько разрядов, сколько имеется

разрядов в ячейке памяти машины, либо с таким предварит. изменением кодов каждого слова, благодаря к-рому каждое слово занимает целое число ячеек (этот последний способ введения текста в машину облегчает выборку слова из текста, но требует большего объема памяти).

Словарь машинного перевода и поиск в словаре. После того, как текст введен в машину, каждое слово текста сравнивается с единицами, находящимися в словаре М. п. (для таких письм. текстов, как иероглифич. китайские, где каждое слово может состоять из нескольких иероглифов, этому этапу предшествует или с ним совмещается этап автоматич. разбиения текста на слова). В словаре М. п. могут содержаться либо все словоформы (т. е. отдельно хранится каждая из форм слова, напр. газета, газету, газете и т.п.), что требует использования большого ЗУ, либо одна осн. словоформа (как в обычных словарях, где существительное дается в именит. падеже, глагол — в инфинитиве), либо основы слов (напр., в фотоскопич. памяти специализиров. машины, с помощью к-рой в США осуществляется перевод газеты «Правды» на англ. язык, хранится 55 000 основ, позволяющих анализировать 500 000 рус. словоформ). При каждой словарной единице в словаре содержится информация о грамматич. ф-ции этой единицы. Увеличение числа единиц, хранящихся в словаре, связано с уменьшением числа операций, необходимых для анализа слов переводимого текста: в словаре словоформ вся грамматич. информация может содержаться при каждой словоформе, и соответственно отпадает необходимость в морфологич. анализе как отдельном этапе М. п. В словаре основ содержится только часть требуемой информации, а др. ее элементы определяются при морфологич. анализе слова.

По способу обращения в словарь можно различать словарь с поиском на совпадение (информация о слове берется из словаря только в случае, если данное слово из текста целиком совпадает со словом в словаре) и словарь с поиском на фиксиров. часть слова (начало слова, конец слова и т. п.). При использовании для М. п. совр. универс. ЭВМ обычно оказывается необходимым хранить словарь во внешней памяти. Объем словаря сокращается путем свертывания кодов, при к-ром всякому буквенному коду, получаемому при побуквенном кодировании слова, сопоставляется двоичный код фиксиров. длины (при этом могут использоваться статистич. данные о частотности сочетаний букв). Для убыстрения поиска в словаре используются нек-рые спец. приемы (дихотомич. поиск с последовательным делением словаря на две группы, использование первых 3—4 букв слова в качестве адресов и т.п.). Существенных экономич. выгод можно достичь при обработке текста большими кусками, когда из данного куска предварительно выбираются все слова, к-рые потом ищутся в словаре (т. е. не текст прогоняется через словарь, а словарь прогоняется через текст). Возможна такая организация словаря, при к-рой раздельно хранится словарь наиболее употребит. слов и микрословари терминов, специфичных для данной узкой области.

Морфологический анализ (МА) имеет целью такую обработку каждой словоформы (последовательности букв между двумя пробелами), после к-рой кодированная эту словоформу последовательность чисел заменяется др. последовательностью чисел, кодирующих грамматич. и лексич. информацию о данной словоформе (иначе говоря, те грамматич. и лексич. значения, к-рые в ней содержатся). При использовании словаря основ лексич. информация (номер слова в словаре или номер переводящего слова, указание на семантич. класс слова и т. п.) и часть грамматич. информации (указание на часть речи) могут быть перенесены из словаря. Для выработки др. элементов грамматич. информации (напр., указаний на число и падеж существительного в рус. языке) необходимо сравнить остаток, получаемый при удалении из данного слова словарной основы, с грамматич. частями слова (аффиксами), содержащимися в спец. таблицах. Так, в словаре основ может содержаться основа газет — ; остаток — а, получаемый при сравнении с этой основой слова газет-а, ищется затем в таблице суффиксов (аффиксов, следующих за основой). В таблицах аффиксов могут содержаться и пустые аффиксы (такой пустой или нулевой аффикс содержится, напр., в форме родит. падежа множеств. числа газет). Обращение к таблицам аффиксов может предшествовать поиску слова в словаре, т. е. можно начать анализ с отсечения таких конечных или нач. элементов слова, к-рые совпадают с аффиксами, содержащимися в таблицах. При разрезании слова на основу (или основы, если разрезается сложное слово) и аффиксы (суффиксы и префиксы, т. е. аффиксы, предшествующие основе) могут быть проведены ошибочные границы между частями слова, т. е. выделены ложные основы или ложные аффиксы. Это может произойти, в частности, благодаря наличию сопряженных основ, вкладывающихся друг в друга (напр., основа наречия мало вкладывается в словоформу прилагательного малого, что может вести к неправильному разложению мало-го), и благодаря наличию омонимов или омографов, т. е. совпадающих по написанию форм разных слов (напр., пила от существительного пила и пила от глагола пить). Возможны два принципиально различных подхода к МА: либо осуществление всех возможных разрезаний данного слова с последующим выбором наиболее вероятного (путем сличения информаций к различным частям слова, к-рые при ложном разрезании должны оказаться несовместимыми), либо последоват. переход от уже получ. информации к такой, к-рая частично ей предсказывается. Так, обнаружение основы существительного предсказывает наличие именного окончания, к-рое соответственно ищется в таблице суффиксов имени. Полного различения омонимов можно достигнуть уже не на этапе МА, а на следующем этапе синтаксич. анализа, т. к. для различения нек-рых омонимов требуется использование информации о др. словах того же предложения (в таких случаях на этапе МА вырабатываются только спец. указания на необходимость разрешения омонимии на следующем этапе). Особые методы МА требуются для таких языков, где необходимо использовать не деление на основу и аффиксы, а деление на корень и схему (как в письменном арабском языке, где корень, состоящий чаще всего из трех букв, разделяется другими, не

всегда обозначаемыми на письме элементами, к-рые задаются схемой и функционально соответствуют аффиксам в др. языках). Сходные трудности, связанные с отсутствием взаимнооднозначного соответствия между грамматич. членением слова и его разложением на следующие друг за другом элементы, имеются и в др. языках [напр., в сильных глаголах типа английского sing (петь), sang, sung, где грамматич. информация извлекается из анализа второй буквы слова, различающейся во всех трех словоформах при сохранении трех остальных букв, образующих корень слова]. Для анализа ряда случаев этого рода целесообразно использовать такую запись слова в словаре, где в отдельных позициях в слове предусматривается наличие нек-рой переменной, принимающей различные значения (напр., три значения переменной β: *i*, *a*, *u* в приведенном выше примере, где основа может быть дана в словаре в виде *sβng*).

При синтаксическом анализе (СА) последовательность грамматич. информаций о каждом из слов предложения (между двумя точечными знаками) перерабатывается в набор чисел, кодирующих информацию о всем предложении в целом. При анализе сложного предложения оно предварительно расчленяется на фрагменты, отделяемые друг от друга знаками препинания (отличными от точечных) или союзами, после чего каждый из фрагментов анализируется порознь. Затем информации к отдельным фрагментам сравниваются друг с другом и перерабатываются в информацию обо всем предложении. Такой метод СА основан на подходе, предполагающем перебор всех возможных синтаксич. связей между частями предложения (при некоторых заранее заданных топологич. ограничениях, выявляемых по условию проективности в *лингвистике математической*). Иначе говоря, машина получает все возможные синтаксич. разборы для данного предложения, после чего она (на основании заданных грамматич. ограничений) выбирает тот из них, к-рый можно считать правильным. Метод СА, часто наз. предсказывательным (predictive analysis, в амер. работах по М. п.), основан на том, что уже обнаруженные в предложении слова определ. классов предсказывают появление слов др. классов (напр., появление артикля предсказывает наличие существительного). При дальнейшем движении по предложению машина производит выбор из этих предсказаний, определ. образом упорядоченных (при начале анализа каждого предложения можно исходить из обязательности наличия в нем некоторых осн. элементов или ядерных конструкций, соответствующих подлежащему и сказуемому). Если известно, что при слове данного класса может быть *k* зависимых слов, машина последовательно проверяет, заполнено ли каждое из этих *k* мест. От таких правил валентности, указывающих только на возможные связи одного слова с др., отличаются позиционные правила, характеризующие позицию слова по отношению к др. словам. К позиц. правилам, в частности, принадлежат правила пропуска, описывающие, какие слова можно пропускать при поиске слова, зависимого от данного. Правила СА удобно задавать таблицей синтаксич. конфигураций (сочетаний классов слов, причем для целей М. п. используется скользящая классификация по многим пересекающимся грамматич. и отчасти семантич. признакам). Адрес нужной конфигурации (или группы конфигураций), содержащей слово данного класса, может быть либо дан уже в словаре, либо вырабатывается по ходу МА, что позволяет существенно уменьшить перебор во время собственно СА. Конечный результат СА — установление дерева зависимостей для данного предложения (о грамматике зависимостей см. *Лингвистика математическая*) или представление его структуры в терминах грамматики непосредств. составляющих. Кроме того, могут быть выявлены осн. синтаксич. отношения, выраженные в данном предложении.

Установление соответствий между переводимым и переводящим текстами и язык-посредник. Дерево переводимого предложения, выявленное на этапе СА, должно быть преобразовано в дерево переводящего предложения по правилам, отображающим локальные части деревьев (поддеревья) одного языка на поддеревья др. языка. На этом этапе оказывается необходимым учитывать не только синтаксич., но и лексич. информацию, либо полученную из словаря, либо вырабатываемую на позднейших этапах (в случае омонимов, различия между к-рыми выявляются в ходе СА, и многозначных слов, определение одного из возможных значений к-рых осуществляется на основе анализа всего контекста). Набор синтаксич. и лексич. значений, содержащихся в данном тексте, путем определ. преобразований может быть приведен к некоторой стандартной записи на искусств. языке-посреднике, специально разрабатываемом для М. п., а затем уже с языка-посредника переводится на язык на выходе (переводящий язык). В качестве языка-посредника предлагается либо использовать набор единиц, каждая из к-рых задается соответствием между переводящими друг друга словами различных языков, либо огранич. словарь осн. значений, через сочетание к-рых описывается значение каждого данного слова в естеств. языке. Построение системы таких осн. значений требует семантич. классификации всех слов естеств. языка и решения задач, близких к задачам построения информационно-логич. языков.

Синтез переводящего предложения. Если (при переводе с другого естеств. языка или с языка-посредника) на этапе установления соответствий вырабатываются указания на синтаксич. связи и лексич. единицы переводящего текста, то на этапе синтеза этот текст реально строится в виде последовательности слов. При переводе с помощью искусств. языка-посредника оказывается возможным дать несколько равноценных в смысловом отношении переводов одного и того же текста с использованием всех возможных синонимов (что представляет интерес для количеств. оценки гибкости языка). Алгоритм синтеза включает правила расстановки слов в нужном порядке и правила морфологич. синтеза, по к-рым из заданных основ и аффиксов строятся словоформы. На выходе получается последовательность слов письменного языка, к-рая выдается печатающим устройством. В принципе возможен (но еще далек от технич. осуществления) и автоматический синтез предложений устного языка (синтезируемые машиной слова могут первоначаль-

но записываться последовательностью условных кодов, каждый из к-рых соответствует букве письм. текста и звуковой единице устного языка). Согласно точке зрения, получающей все более широкое распространение, правила анализа могут быть построены как обращение правил синтеза, но при синтезе не возникает проблемы омонимии, особенно существенной для анализа. Особый интерес может представить использование правил синтеза для автоматич. редактирования (т. е. для перевода с данного языка на тот же язык с фиксиров. правилами синтеза). Тексты, получаемые в результате опытов М. п., нуждаются в редактировании, производимом вручную, т. е. во вмешательстве человека-постредактора, исправляющего недочеты М. п.

Состояние и перспективы машинного перевода. Возможность М. п. научно-технич. и политич. текстов, начиная с 1954, когда были проведены первые опыты М. п. в США, продемонстрирована многочисл. экспериментами в США, СССР, Англии, Японии, Китае и Чехословакии. Работы по М. п. начаты во Франции, Италии, Югославии и др. странах. Однако переводы хорошего качества получены только для отдельных предложений и небольших отрывков (напр., франц. математич. текстов, переводившихся на рус. язык на машине «Стрела» в Математич. ин-те АН СССР). Массовые опыты М. п. ограничиваются только пословным переводом, выдающим все возможные эквиваленты переводимого слова (напр., переводы на англ. язык газеты «Правды» на машине в США). Для усовершенствования существующих словарей и алгоритмов М. п. широко используются вычислит. машины, т. е. сама работа по составлению правил М. п. постепенно частично автоматизируется. Существ. роль при этом играет разделение труда между математиками, формулирующими нек-рые (общие для разных языков) принципы работы машины, и лингвистами, представляющими такое описание грамматики языка, на основании к-рого машина сама может строить алгоритм анализа данного предложения (работы Вычислит. центра ЛГУ). Дальнейшим шагом по пути к автоматизации составления правил М. п. являются проведенные в Математич. ин-те АН СССР опыты по составлению машиной таблиц синтаксич. конфигураций по заданным предложениям, для к-рых дается дерево зависимостей. Автоматизация программирования алгоритмов М. п. осуществляется благодаря разработке спец. языков для записи этих алгоритмов (операторная запись и т. п.). Большинство экспериментов М. п. было проведено на универс. вычислит. машинах, но разрабатывались также и специализир. машины для М.п. (с большой быстродействующей памятью, специальным набором команд и т. д.). В США и ряде др. стран первые опыты пром. М.п. планируются на ближайшие годы. С экономич. стороны М.п. (с учетом предварит. затрат) пока дороже перевода вручную, но М. п. может явиться важнейшим способом быстрого получения необходимой научно-технической информации. См. также *Научно-технической информации обработка*.

Лит.: Ахманова О. С. [и др.], О точных методах исследования языка, [М.], 1961; Кулагина О. С. и Мельчук И. А., Машинный перевод с французского языка на русский, «Вопр. языкознания», 1956, № 5; Кулагина О. С., Операторное описание алгоритмов перевода, «Машинный перевод и прикладная лингвистика», 1959, № 2—3; Материалы по машинному переводу, сб. 1, Л., 1958; Машинный перевод. Сб. ст., пер. с англ., М., 1957; Машинный перевод, «Тр. Ин-та точной мех. и вычисл. техники АН СССР», 1961, вып. 2; Мельчук И. А., Морфологический анализ при машинном переводе, в сб.: Проблемы кибернетики, вып. 6, М., 1961; его же, Об алгоритме синтаксического анализа языковых текстов, «Машинный перевод и прикладная лингвистика», 1962, № 7; Равич Р. Д., Библиография зарубежных работ по машинному переводу (1960—1961), М., 1962; Proceedings of the national symposium on machine translation held at the University of California, Los Angeles, feb. 2—5, 1960, N. Y., 1961; Машинный перевод (1949—60). Библиографический указатель, М., 1962; Mathematical linguistics and automatic translation, report (3), № NSF 1—8, Camb., 1959—63 (The Computational laboratory, Harvard University); «Mechanical translation», Camb., 1954—; Oettinger A. G., Automatic language translation, Camb., 1960; Шрейдер Ю. А., Машинный перевод на основе смыслового кодирования текстов, в сб.: Научно-техническая информация, 1963, № 1.

В. В. Иванов.

МАШИННЫЙ ЯЗЫК универсальный (universal machine language; langage universel de machine; universale Maschinensprache, universale Algorithmensprache) — формальный язык для описания алгоритмов решения задач, учитывающий, что эти алгоритмы должны быть реализованы на вычислит. машине (ВМ). М.я. занимает промежуточное положение между языками, ориентированными на описание алгоритмов решения классов задач и безразличными к способам их реализации (языки типа *A*) и конкретными языками отдельных ВМ (системами команд). М.я. призван служить посредником между этими языками. Процесс получения по записи на к.-л. языке типа *A* программы для конкретной ВМ разбивается на два этапа: 1) перевод с языка типа *A* на М.я.; 2) перевод с М. я. на язык данной ВМ. Легко видеть, что при этом, если имеется *N* языков типа *A* и *K* различных ВМ, то для автоматизации программирования со всех этих языков на все ВМ потребуется не *NK* программирующих программ, а всего *N*+*K*. Кроме того, М.я. может служить типовым псевдокодом для ВМ с системами команд, неудобными для непосредственного программирования (недостаточно широкий набор операций, плавающая адресность и т. п.). Проект М. я. интенсивно разрабатывается, однако окончательного общепризнанного варианта языка пока еще нет.

Можно указать нек-рые осн. требования, к-рым, по-видимому, будет удовлетворять М.я.: 1) это должен быть операторный язык со строго детерминированной последовательностью выполнения операций и с выделенными операторами передачи управления. Операторы должны допускать простую реализацию на ВМ; 2) в М.я. должно быть отражено то обстоятельство, что объектами операций ВМ служат ячейки памяти, содержимое к-рых может изменяться в процессе счета и приобретать различный смысл на различных его этапах; 3) должна иметься возможность учесть в записи на М.я. нек-рые осн. хар-ки ВМ (соотношение объемов и скоростей различных видов памяти и т. п.).

Развитие М.я. позволит ближе подойти к решению проблемы формального описания ВМ, достаточно отражающего ее осн. хар-ки.

Лит.: Woodward P. M. and Jenkins D. P., Atoms and lists, «Computer Journal», 1961, v. 4, № 1, p. 47—53; Badley Ph. R., Principles and problems of a universal computer-oriented language, там же, 1962, v. 4, № 4, p. 305—12. *Э. З. Любимский.*

МАЯЧКОВАЯ ЛАМПА — триод для генерирования, усиления, детектирования и смешения СВЧ колебаний (см. *Лампа маячковая*).

МЕДИЦИНСКАЯ ЭЛЕКТРОНИКА [bio electronics (medical electronics); bio-électronique (électronique médicale); medizinische Elektronik] — область науки и техники, занятая использованием электроники, ее принципов, методов и приборов для решения медицинских проблем. М. э., как научная дисциплина, сложилась в 50-х гг. В США, Англии, Франции и др. странах созданы научные общества М.э. В СССР существует секция М.э. при НИТО радиосвязи и электротехники им. А. С. Попова. В 1959 организована Международная Федерация М.э. Регулярно созываются международные конференции по М.э. с участием инженеров, физиков, биологов и медиков различных специальностей (в 1958 и 1959 — в Париже, в 1960 — в Лондоне, в 1961 — в Нью-Йорке). В СССР в 1959 и 1962 проведены Всесоюзные конференции по применению электроники в биологии и медицине.

Электронная техника в медицине применяется для: 1) сбора информации о физиологич. процессах в организме; 2) переработки и автоматич. анализа физиологич. информации; 3) создания мощных силовых полей (электрического, электромагнитного, акустич., теплового) для воздействия на организм; 4) моделирования процессов, происходящих в организме; 5) автоматич. управления процессами жизнедеятельности и автоматич. регулирования окружающей организм среды.

Сбор информации. Электроника позволила широко применить методики электрометрии и электрографии, т. е. электрич. измерений и графич. регистрации электрич. и неэлектрич. величин в физиологич. исследованиях, направленных на выяснение природы и механизмов жизненных отправлений организмов. В клинич. практике методики электрометрии и электрографии дают информацию, помогающую уточнять диагностику различных заболеваний и объективно оценивать результаты лечения. Для биологич. и медицинской электрометрии и электрографии чрезвычайно важно, что электроника обеспечивает: высокую чувствительность измерит. и регистрирующей аппаратуры благодаря возможности усиления очень слабых напряжений и токов (при нек-рых физиологич. исследованиях измеряют разности потенциалов в несколько *мкв*); регистрацию пост. и перем. составляющих (частота последней при нек-рых физиологич. процессах достигает 2—3 *кгц*); преобразование в электрич. энергию любых др. видов энергии и измерение неэлектрич. величин электрич. методами; синхронную запись на одной и той же кинопленке или бумажной ленте и сопоставление во времени различных по свойствам и происхождению процессов; регистрацию явлений на расстоянии от объекта исследования.

Благодаря электронике стало возможным измерять чрезвычайно слабые и быстро протекающие (в *мсек*) электрич., механич., тепловые изменения в организме и в отдельных структурных его элементах, напр. в отдельной нервной клетке и ее волокнах. Это стало источником обширной физиологич. информации, получение к-рой прежде было недоступно. Синхронная регистрация разнородных физич. и физиологич. процессов в разных органах или в одном и том же органе живого организма делает физиологич. исследование значительно более полным и содержательным, вскрывая взаимоотношения и закономерные связи между различными явлениями.

Электрофизиологические исследования. Из всех биологич. дисциплин первой электронику начала использовать электрофизиология, изучающая электрич. явления в организме. Для физиологии исключительно интересно исследование этих явлений, т. к. они — обязательные компоненты возбуждения, одного из основных физиологич. процессов в нервной и мышечной ткани. Возбуждение сопровождается электрич. колебаниями — потенциалами или токами действия. Для их исследования необходимы безынерционные и высокочувствит. электронные приборы: усилители перем. и пост. тока или напряжения и электронолучевые *осциллографы*. Частота колебаний биоэлектрич. потенциалов, как правило, не превышает неск. сотен *гц*, но передний фронт их нарастания может быть настолько крутым, что для точного воспроизведения его кривой бывает необходима частотная хар-ка усилит. тракта и регистрирующего прибора до 10 тыс. *гц*. Наряду с быстрыми колебаниями потенциалов в живой ткани возникают весьма медленные колебания, к-рые могут продолжаться десятки сек. Для их регистрации необходимы стабильно работающие (с минимальным дрейфом) *усилители постоянного тока* или напряжения с большим коэфф. усиления. Обязательное условие — большая устойчивость электрофизиологич. аппаратуры к внешним электрич. помехам, нередко осложняющим исследования, особенно, когда электрич. явления регистрируются при нанесении на исследуемую живую ткань внешних электрич. раздражений. Технич. требования физиологии к усилителям пост. тока настолько сложны, что лишь в самое последнее время техника оказалась способной их удовлетворить.

Регистрировать биоэлектрич. потенциалы и токи действия можно отведением их непосредственно от тех клеток или тканей, где они возникают, прилагая к этим тканям электроды, соединенные с электроизмерит. прибором. Можно также отводить биоэлектрич. потенциалы, возникающие при возбуждении нервной системы, скелетных мышц или сердца, прикладывая электроды к определенным точкам поверхности тела целостного, неповрежденного организма. Для этого служат спец. методики: электрокардиография, исследующая электрич. изменения в теле, связанные с сердечной деятельностью; электроэнцефалография, регистрирующая электрич. явления в головном мозге; электромиография, изучающая биотоки или биопотенциалы скелетных мышц; электроретинография, регистрирующая потенциалы сетчатки; электрогастрография, регистрирующая электрические явления, связанные с деятельностью желудка, и др.

Перечисленные методики позволили обнаружить много ценных для эксперимент. физиологии фактов. Они имеют большое диагностич. значение в клинич. практике. Электрокардиография позволяет установить нарушения в деятельности сердца, по обнаруживаемые др. методами. Электрокардио-

графию применяют также в ходе различных нехирургич. вмешательств, в частности во время операций на органах грудной полости, что позволяет своевременно устанавливать возникновение тяжелых нарушений работы сердца и принимать необходимые меры для их устранения. С помощью электрокардиографии в акушерской клинике можно определить положение плода в матке, установить наличие близнецов и обнаружить врожденное нарушение сердечной деятельности у ребенка еще до его рождения.

Электроэнцефалография приобрела значение в неврологич. и нейрохирургич. практике для локализации опухолей мозга и патологич. очагов. Теперь не ограничиваются приложением электродов к поверхности черепа, но иногда тонкие проволочные электроды диаметром 0,1—0,2 *мм* вводят через отверстия в черепе непосредственно в ткань головного мозга. Большое значение для суждения о динамике электрич. активности мозга имеет одновременное отведение мозговых потенциалов от большого числа участков головного мозга. В связи с этим сконструированы многоканальные приборы, позволяющие регистрировать электроэнцефалограммы от 16, 20 и даже 32 участков мозга.

Задачу исследования электрич. активности большого числа точек поверхности мозга решают электронные приборы — электроэнцефалоскопы, или электротопоскопы. В подобном приборе, сконструированном англ. ученым Грей-Уолтером, имеются 22 усилит. тракта, каждый из к-рых соединен с отдельной *электроннолучевой трубкой*. Все эти трубки размещены в непосредственной близости одна от другой, образуя большой экран, позволяющий наблюдать визуально и регистрировать фотографич. электрич. активность 22 участков мозговой коры. Электронный луч каждой ЭЛТ, двигаясь непрерывно, оставляет на экране спиральный светящийся след. Яркость свечения пропорциональна потенциалу, отводимому от головного мозга. Фотографируя экран на неподвижную фотопластинку и зная скорость движения луча по спирали, можно определить длительность электрич. колебаний головного мозга, пропорц. длине светящегося следа, что позволяет судить о частотной характеристике мозговых потенциалов.

Прибор др. типа сконструировали В. М. Ананьев и М. Н. Ливанов, использовав двухлучевой электронный осциллограф, соединенный с двумя усилит. каналами. Каждый усилитель через *коммутатор электронный* соединен с 50 электродами, к-рые с частотой в неск. тысяч соединений в сек. попеременно включаются в усилит. тракт. Таким образом на вход усилителя и на электроннолучевой осциллограф подается потенциал, отводимый от каждого из тех участков мозга, к к-рым приложены электроды. Потенциал под любым из электродов определяется по отношению к усредненному потенциалу всех остальных. Электронный коммутатор, соединяя усилитель с тем или иным электродом, одновременно подает потенциал, сдвигающий луч на экране ЭЛТ на определенное расстояние по вертикали или горизонтали. Электроэнцефалоскоп Ананьева и Ливанова позволяет наблюдать распределение на плоскости, «мозаику» электрич. активности 50 участков головного мозга, находящихся под электродами. Эта «мозаика» представляется в виде 50 светящихся точек, яркость к-рых непрерывно меняется в зависимости от колебаний потенциала (рис. 1). Для определения амплитуды потенциала служит второй луч двухлучевой трубки. Он дает в нижней части экрана горизонтальную «шкалу» из 50 вертикальных линий, длина каждой из к-рых соответствует величине потенциала под одним из электродов.

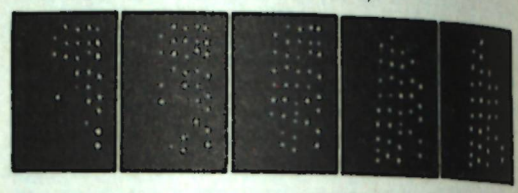


Рис. 1. 5 последовательных фотографий с экрана электроэнцефалоскопа. Интервал между каждыми двумя снимками $^1/_{24}$ сек. Видна динамика изменения электрич. активности разных участков коры больших полушарий головного мозга. (По Ливанову и Ананьеву).

Применение электронных усилителей и осциллографов позволило разработать принципиально новый методич. прием — введение микроэлектрода в протоплазму первой или мышечной клетки, что дает возможность отводить электрич. потенциалы непосредственно от отдельной клетки, анатомически не изолируя ее от организма. Второй индифферентный электрод обычных размеров помещают на расстоянии от исследуемой клетки. При введении микроэлектрода нервная клетка сохраняет свои связи с другими клетками центральной нервной системы и с периферич. элементами. Остается неповрежденным и ее кровоснабжение. Посредством микроэлектродов отводят потенциалы также от мышечных волокон скелетных мышц и сердца. Применяют микроэлектроды с диаметром кончика 0,5—1,0 *мк*, металлич. или стеклянные, заполненные раствором хлористого калия или натрия. Такой микроэлектрод имеет сопротивление в 10—20 *Мом* и потому не может быть присоединен прямо к входу усилителя. На входе усилит. тракта необходима схема катодного повторителя.

Разработка методики микроэлектродных исследований и полученные с ее помощью результаты привели к созданию электрофизиологии клетки. Посредством микроэлектродной техники показано наличие т. н. мембранного (трансмембранного) потенциала клетки, т. е. разности потенциалов между протоплазмой клетки и ее внешней поверхностью, от к-рой внутреннее содержимое клетки отделено уплотненным слоем протоплазмы, образующим мембрану. При проникновении микроэлектрода через поверхностную мембрану внутрь клетки обнаруживается, что ее протоплазма электронегативна по отношению к внешней поверхности; мембранный потенциал достигает в нервных волокнах, нервных и поперечно-полосатых мышечных клетках 70—90 *мв*. При нанесении раздражений и возникновении возбуждения клетки мембранный потенциал резко падает и извращается знак внутриклеточного потенциала (реверсия потенциала), т. е. протоплазма становится электропозитивной по отношению к внешней поверхности клетки. Мембрана, следовательно, не только деполяризуется, но и перезаряжается. Разность потенциалов при возбуждении (потенциал действия) равна в нервных волокнах и клетках и мышечных волокнах 90—120 *мв*; перезарядка мембраны составляет 20—35 *мв*. Высоковольтное колебание (пик потенциала или тока действия) длится в нерве или в скелетной мышце 1—2 *мсек* и сопровождается низковольтными следовыми колебаниями потенциала, амплитуда к-рых изменяется от неск. *мкв* до неск. сотен *мкв*, а продолжительность — от десятков *мсек* до 1 сек. и более (рис. 2).

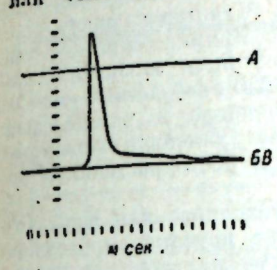


Рис. 2. Потенциал действия *Б* мышечного волокна лягушки, вызванный одним раздражающим импульсом и зарегистрированный внутриклеточным микроэлектродом; *А* — уровень потенциала покоя; *В* — уровень нулевого потенциала. (По Настуку и Хочкину).

Исследования с помощью внутриклеточных микроэлектродов позволили приблизиться к пониманию природы биоэлектрич. потенциалов. Мембранный потенциал обусловлен разностью концентрации ионов по обеим сторонам мембраны, т. е. внутри и снаружи клетки. Согласно теории англ. физиолога Хочкина (Hodgkin), при возбуждении увеличивается проницаемость мембраны, и ионы натрия, концентрация к-рых вне клетки выше, чем внутри, входят в клетку. Возникает потенциал действия. В следующую фазу ионы калия перемещаются из клетки наружу. По окончании возбуждения за счет энергии обмена веществ восстанавливаются исходные ионные соотношения в клетке и во внешней среде и исходный заряд мембраны.

Разработаны также способы изучения электрич. свойств живых тканей. Исследуя эти свойства, можно составить представление о ряде физиологич. процессов. Так, показано, что полное электрич. сопротивление (импеданс) тканей организма, определяемое при прохождении через них перем. тока частотой в десятки или сотни тысяч *гц*, изменяется в зависимости от кровенаполнения и сердечной деятельности. На этом основаны способы регистрации механич. процессов сердечной деятельности (методика реокардиографии), а также пульсации сосудов и кровенаполнения частей тела (методики реографии и реоплетисмографии). При этих методиках к определенным частям тела прикладывают электроды, соединенные с электронной схемой, служащей для измерения импеданса тканей тела.

Электрич. измерения неэлектрич. величин. В медицинских исследованиях применяются различные преобразователи, или *датчики*, служащие для преобразования различных видов энергии в электрич. выходные сигналы, к-рые и регистрируются. Так изучаются температурные, механич., акустич., оптич. явления, связанные с жизнедеятельностью организма. Температурные измерения производятся обычно термопарами и термометрами сопротивления. Широко распространены термисторы (см. *Терморосопротивление полупроводниковое*); при необходимости высокой чувствительности аппаратуры их используют в сочетании с усилителями пост. тока или напряжения. Иногда, напр. при определении теплообразования одиночной мышечной или нервной клетки, требуется чрезвычайно высокая чувствительность прибора.

Акустич. явления в организме регистрируются пьезокристаллич. или динамич. микрофоном, соединенным с усилителем и осциллографом (для графич. регистрации) или динамич. репродуктором (для прослушивания). Так исследуются тоны и шумы, возникающие в сердце при его сокращении. Эта методика (фонокардиография) делает детальный анализ звуков сердца несравнимо более точным, чем это доступно человеч. уху (рис. 3). Применение миниатюрных деталей (см. *Микроминиатюризация*) позволило изготовить микрофон столь малых размеров, что его можно ввести через периферич. сосуды в полости сердца и выслушивать изнутри сердца звуковые явления, связанные с его деятельностью. Несложно записать сердечные тоны и шумы на патефонную пластинку или магнитную ленту, что позволяет в дальнейшем в любой момент воспроизвести их, напр., для сравнения с теми изменениями в сердечной акустике, к-рые произошли в результате лечения. Для изучения звуковых явлений в полости черепа при движении крови по сосудам головного мозга применен электронный стетоскоп. Эта методика (фонокраниография) имеет и нек-рое диагностич. значение при расстройствах кровообращения в головном мозге.

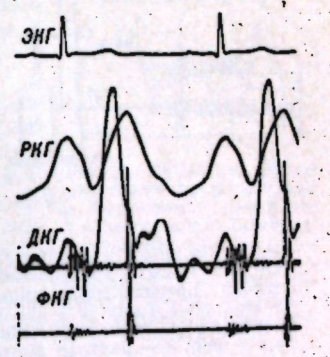


Рис. 3. Синхронная запись у человека электрокардиограммы *ЭКГ*, реокардиограммы *РКГ*, динамокардиограммы *ДКГ* и двух фонокардиограмм *ФКГ* при разных частотных характеристиках.

Механич. процессы в организме исследуются с применением датчиков: генераторных (пьезоэлектрич. и индукционных) и параметрич. (емкостных, индуктивных и резистивных). В связи с малой амплитудой сигналов при физиологич. исследованиях они применяются, как правило, в сочетании с усилителями. В физиологич. приборах широкое применение находят электронно-механич. преобразователи — *механотроны*. При механич. воздействии на выведенный наружу штифт, соединенный с подвижным электродом, изменяется междуэлектродное расстояние, что сопровождается изменениями внутреннего сопротивления лампы и анодного тока. За рубежом в медицинской аппаратуре используется механотрон в виде триода продольного управления с подвижным анодом. Он имеет диаметр 6 *мм*, длину 25 *мм*, вес около 2 *г*. Чувствительность этого прибора такова, что при отклонении на 1 *мк* находящегося снаружи лампы штифта, соединенного с подвижным анодом, анодное напряжение изменяется на 0,28 *в*. Усилие, необходимое для перемещения стержня на такое расстояние, равно всего 0,4—0,5 *г*. Собственная частота колебаний механо-

тронов достигает 10—12 *кгц*. Они могут регистрировать весь интересующий физиолога диапазон частот. Способы применения механотрона для различных физиологич. измерений показаны на рис. 4.

Для физиологич. исследований предложены ртутно-резиновые и коллоидно-графитовые резиновые датчики в виде тонких резиновых трубочек с внутренним диаметром 0,06—0,2 *мм*,

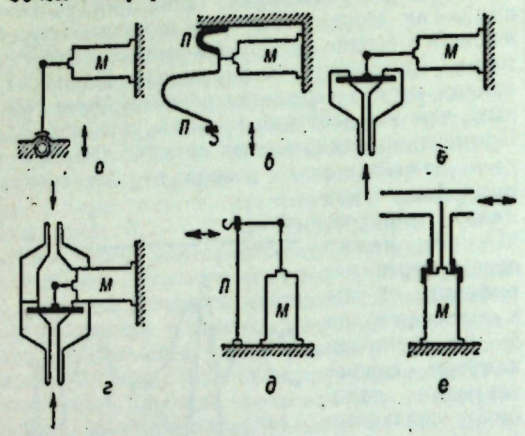


Рис. 4. Применение механотрона *М* для измерения: *а* — малых перемещений, напр. для регистрации артериального пульса; *б* — больших перемещений и сил; *в* — давления; *г* — разности давлений с помощью дифференциального манометра; *д* — сил; *е* — расхода жидкости и газа; *П* — пружина. (По Хаютину).

заполненных проводником — ртутью или коллоидно-графитовым раствором. При растяжении трубочки меняется длина и толщина проводника и, следовательно, его электрич. сопротивление. В оба конца трубочки введены проволоки для подключения датчика в электрич. мостовую измерит. схему.

Генераторные датчики обычно не требуют спец. конструкции усилителя и могут быть подсоединены к любому усилителю пост. или перем. тока, в том числе к широко распространенным в медицинских учреждениях усилителям электрокардиографа или электроэнцефалографа. Поэтому, несмотря на многие недостатки генераторных датчиков, они применяются в очень многих медицинских приборах. Генераторные датчики регистрируют не самый процесс, а его производные. Так, индукционные датчики регистрируют первую производную, т. е. скорость исследуемого процесса, а пьезоэлектрич. — приблизительно вторую производную, т. е. ускорение. Недостатком генераторных датчиков является также и невозможность измерять ими пост. составляющую и малая их пригодность для регистрации медленных процессов порядка долей *гц*, к-рые часто встречаются в организме (дыхат. движения, сокращения гладких мышц).

Параметрич. датчики требуют усилителей спец. конструкции и источника питания. Последним обычно служит генератор несущей частоты, значительно превышающей частоту исследуемого процесса. При воздействии на датчик изменяется его какой-либо электрич. параметр (емкость, индуктивность, активное сопротивление), что вызывает амплитудную или частотную модуляцию несущей частоты. Напряжение или ток от датчика подается на усилитель, на выходе к-рого происходит детектирование несущей частоты и сглаживание колебаний, после чего на регистрирующий прибор, обычно осциллограф, поступают только колебания исследуемого процесса.

Посредством различного типа преобразователей механич. величин в электрич. сигналы измеряют вес и линейные размеры, линейные и угловые перемещения, сосредоточенные силы и давления, скорости и ускорения, вибрации и деформации. Чувствительность способов исследования с применением нек-рых типов датчиков может быть исключительно высока. Так, еще в 1920 посредством емкостного датчика, включенного в резонансный контур, было замерено линейное перемещение, происходящее при росте растения в течение 15 мин.

Выбор наиболее пригодного для физиологич. исследования типа датчика определяется: 1) задачей, объектом и условиями исследования и хар-кой исследуемого процесса (его амплитудой и частотой, наличием пост. составляющей и т. п.); 2) свойствами датчиков (чувствительностью, т. е. величиной сигнала, выдаваемого при данном конкретном воздействии на датчик; собственной частотой колебаний, к-рая должна в неск. раз превышать частоту исследуемого процесса; стабильностью работы в течение всего времени, требуемого для измерения, и т. д.); 3) имеющейся в данной лаборатории усилит. и регистрирующей аппаратурой.

Электрич. методы измерения механич. величин применяют для исследования функций сердечно-сосудистой и мышечной систем. С их помощью регистрируют процессы, происходящие как в целостном организме человека или животного, так и в изолированных органах или частях их. Применение электронно-механич. преобразователя в сочетании с усилителем дает возможность регистрировать сокращения даже одиночного мышечного волокна. Электрич. методы измерения механич. величин с помощью электронной аппаратуры явились основой усовершенствования многих давно известных методик физиологич. исследования. Так, в корне усовершенствованы методы измерения давления крови в сердце и сосудах. Для этой цели применяются электроманометры с емкостными, индуктивными, резистивными или электронно-механич. преобразователями давления в электрич. сигналы. Электроманометры широко применяются в клинич. практике. С 1952 используются электроманометры столь малых размеров, что их можно вводить внутрь сосуда или сердца. Такой миниатюрный электроманометр диаметром около 2 *мм* укрепляют на конце катетера, вводимого в сосуды или полости сердца (рис. 5). При этом в кривых, записываемых им, отсутствуют временные и амплитудные искажения, могущие возникнуть в случаях, когда электроманометр расположен снаружи. В последнем случае может происходить временной сдвиг волны давления, так как она передается к электроманометру через столб

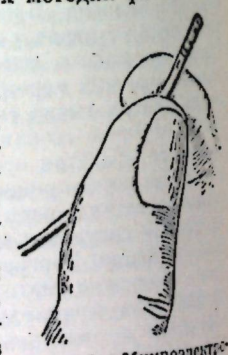


Рис. 5. Микроэлектроманометр, вмонтированный в конец катетера, позволяющий регистрировать давление и звуковые явления в сердце и сосудах. (По Лорану и др.).

жидкости в катетере или трубке, соединяющей кровеносный сосуд с электроманометром. Миниатюрный электроманометр с достаточно жесткой мембраной может служить и для регистрации звуковых явлений в сердце. Для этого его соединяют с двумя усилителями, один из к-рых снабжен фильтром нижних частот, а другой — верхних, вследствие чего один регистрирует кривые давления, а другой — тоны и шумы сердца (рис. 6).

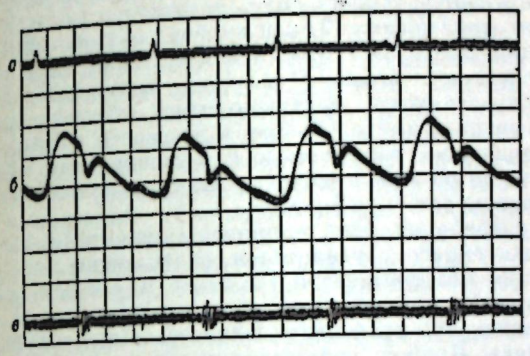


Рис. 6. Кривые давления (*б*) в легочной артерии и внутрисердечных тонов (*в*), записанные с помощью микроэлектроманометра, и электрокардиограмма (*а*). (По Лорану и др.).

Благодаря применению электронной аппаратуры усовершенствована методика регистрации артериального пульса — сфигмография. На рис. 7 представлена конструкция одной из простых моделей электросфигмографа с проволочными датчиками активного сопротивления и кривые, полученные при помощи этого прибора, соединенного с усилителем и осциллографом. Имеются и др. конструкции электросфигмографов, в к-рых используются пьезодатчики, емкостные и индуктивные преобразователи. Пьезоэлектрич. сфигмографы регистрируют не колебания артериальной стенки, а ускорение этих колебаний. Для записи артериального пульса и кровенаполнения конечностей применяют также браслет из резиновой трубки, заполненной ртутью или коллоидным раствором графита, к-рая обхватывает руку или ногу и регистрирует пульсацию кровеносных сосудов вследствие происходящего при этом изменения объема конечности и периодич. расширения и сжатия резиновой трубки, вызывающих изменения сопротивления столбика ртути или графитового раствора. Для записи пульса удобна пневматич. передача пульсовых колебаний к простому электроманометру, соединенному с усилителем и осциллографом.

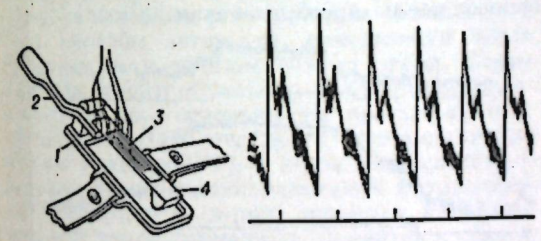


Рис. 7. Сфигмограф с проволочными датчиками сопротивления (слева) и кривые пульса лучевой артерии, записанные с помощью этого прибора: *1* — рамка, накладываемая на участок тела над исследуемой артерией; *2* — подвижная рукоятка на шарнире, служащая для приближения пелота к артерии; *3* — проволочные датчики сопротивления; *4* — пелот, передающий пульсацию артерии. (По Бабскому и др.).

Разработаны способы электрич. регистрации колебаний кровенаполнения в различных органах. С. Фигар (ЧССР) предложил для этого емкостную плетизмографию. При этом на палец руки или ноги надевается металлич. покрытое изолятором кольцо, служащее одной из пластин конденсатора. Второй пластиной служит сам палец, отделенный от кольца небольшим воздушным зазором. Последний меняется в зависимости от кровенаполнения пальца, вследствие чего изменяется емкость конденсатора, что и регистрируется электроизмерит. прибором, соединенным с усилителем (рис. 8 и 9).

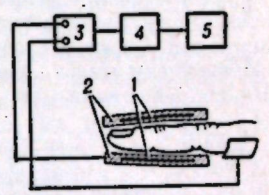


Рис. 8. Схематич. разрез емкостного плетизмографа и блок-схема аппарата: *1* — металлич. электрод, надеваемый на палец; *2* — изоляционный слой; *3* — генератор; *4* — дискриминатор; *5* — регистрирующее устройство. (По Фигару).

Использование различных датчиков для регистрации функций скелетной мускулатуры привело к модернизации нек-рых давно известных методик. Так, усовершенствованы методики записи сокращения отдельных мышц и мышечных групп, движения звеньев тела в суставах, способы измерения силы мышц (динамометрия) и регистрации утомления (эргография). Разработаны и новые методики, в частности позволяющие исследовать многие процессы в организме человека, ничего к нему не прикладывая, не нанося ему никаких вредных раздражений и даже не прикасаясь к нему. Для этого датчики, воспринимающие определенные изменения в теле, монтируются в устройстве, на к-рое ложится, садится или становится испытуемый. Подобные приборы применяются при методиках баллистокардиографии, динамокардиографии, стабилографии, опорной динамографии. Первые две служат для исследования деятельности сердца, последние — для определения устойчивости стояния и регистрации нек-рых двигат. реакций.

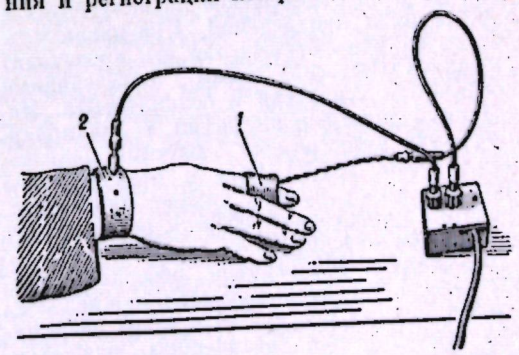


Рис. 9. Способ записи кровенаполнения емкостным плетизмографом: *1* — кольцо, надеваемое на палец испытуемого, соединенное с генератором; *2* — заземляющий электрод, соединенный с нулевым потенциалом генетора. (По Фигару).

Методика баллистокардиографии, разработанная в основном американскими исследователями, основана на регистрации колебаний тела, происходящих в результате реактивных сил, иначе говоря, баллистич. отдачи

при выбросе крови из сердца в аорту и легочную артерию и движении крови по сосудам. Для регистрации этих смещений тела при одном из распространенных вариантов баллистокардиографии исследуемый ложится на стол, в верхнюю доску к-рого вмонтированы датчики, воспринимающие ее колебания (амплитуда последних составляет десятые или даже сотые доли *мм*). Соответствующая кривая (баллистокардиограмма) может регистрироваться также посредством прибора, на к-ром стоит или сидит человек.

Методика динамокардиографии, разработанная Е. Б. Бабским с сотрудниками, основана на регистрации смещений проекции центра тяжести грудной клетки на плоскость опоры, на к-рой лежит исследуемый. Эти смещения обусловлены дыхат. движениями и сердечными сокращениями (в случае произвольной

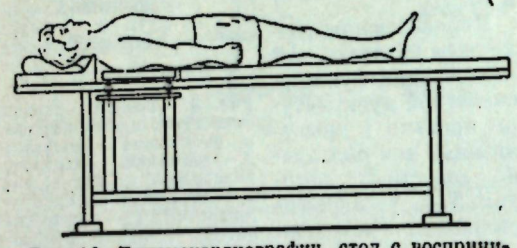


Рис. 10. Динамокардиографич. стол с воспринимающим устройством, помещенным под грудной клеткой испытуемого. (По Бабскому и др.).

задержки дыхания — только сердечными сокращениями). Испытуемый лежит на спине на воспринимающем устройстве, вмонтированном в кушетку или стол (рис. 10). Устройство состоит из двух квадратных металлич. или пластмассовых плит размером 35 *см*×35 *см*, расположенных одна под другой. Между ними, по углам их, находятся 4 упругих элемента в виде стальных колец или консольных балок с наклеенными на них проволочными датчиками омич. сопротивления. Датчики соединены по дифференц. мостовой схеме, что позволяет регистрировать моменты силы, действующей на верхнюю плиту воспринимающего устройства. Поэтому оно реагирует не только на прирост или убыль нагрузки, падающей на него, но и на перемещение по нему груза в определенном направлении. При накладывании груза или перемещении его происходит разбаланс мостовой схемы, определяемый посредством усилителя и осциллографа. Методики баллистокардиографии и динамокардиографии регистрируют сердечные сокращения в виде характерных и отличающихся друг от друга кривых, имеют диагностич. значение и позволяют объективно оценивать результаты лечения.

Методика стабилографии позволяет регистрировать колебания тела стоящего человека вправо и влево или вперед и назад посредством осциллографа, соединенного через усилитель с воспринимающим устройством, на к-рое становится испытуемый. Воспринимающее устройство принципиально аналогично воспринимающему устройству динамокардиографа. Методика стабилографии в сочетании с записью биотоков скелетных мышц убедительно показала, что колебания тела при стоянии человека имеют рефлекторное происхождение и способствуют поддержанию динамич. по своей природе равновесия тела в пространстве. Методика стабилографии имеет также практич. значение в неврологич. клинике и протезно-ортопедич. практике.

При другом способе соединения датчиков в воспринимающем устройстве последнее реагирует не на момент силы, а только на приложенную к нему силу, независимо от места ее приложения. Такой прибор, наз. опорным динамографом, представляет собой аналог электрич. весов. Показания этого прибора определяются вертикальными смещениями центра тяжести. Любое, в частности рабочее, движение, совершаемое при стоянии или сидении на этом приборе, регистрируется электроизмерит. прибором.

Прибором типа опорного динамографа, соединенного с усилителем, обладающим большим коэффициентом усиления, и с чувствит. упругими элементами, можно регистрировать изменения кровенаполнения отдельных частей тела. Прибор, подложенный под исследуемую часть тела, регистрирует изменения ее веса при расширении или сужении кровеносных сосудов и, следовательно, увеличении или уменьшении их кровенаполнения. Чувствительность прибора может быть такова, что, помещая его под подушку, на к-рой лежит голова исследуемого человека, можно регистрировать увеличение кровенаполнения при умственной работе, напр. при решении математич. задачи (рис. 11).

В физиологии и медицине широко применяются методы измерения оптич. величин, основанные на преобразовании их в электрич.

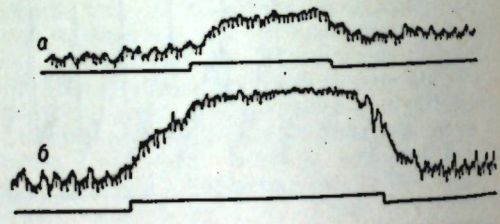


Рис. 11. Изменения кровенаполнения головы, регистрируемые по изменению веса, при решении арифметич. задач: *а* — при умножении двух двухзначных чисел; *б* — при умножении двухзначного числа на трехзначное. Отметчик показывает время решения задачи. На кривых видны дыхательные волны и пульсовые колебания. (По Бабскому и др.).

сигналы с помощью фотоэлементов и фотоумножителей. Примерами физиологич. методик, использующих такие приборы, являются рентгенэлектрокимография, пневмоденсиграфия и оксигемометрия.

Рентгенэлектрокимография основана на регистрации изменений освещенности рентгеновского экрана в околосердечной области, обусловленных движением контура сердечной тени при сокращениях сердца. Над экраном помещают чувствит. фотоэлемент или фотоумножитель, соединенный с усилителем и осциллографом. Так записывают сокращения предсердий и желудочков сердца, а также пульсацию аорты.

Пневмоденсиграфия, разработанная в 1935 французским ученым Маршаллом, регистрирует колебания освещенности легочной ткани на экране рентгеновского аппарата, зависящие от пульсовых изменений кровенаполнения легких. Методика имеет значение для ранней диагностики нек-рых заболеваний (напр., опухолей) легких.

Оксигемометрия представляет собой методику измерения степени насыщения артериальной крови кислородом. В развитии ее имели большое значение работы Е. М. Крепса в СССР, Гольди в Англии, Милликена в США. При просвечивании тканей тела, напр. ушной раковины или складки кожи пальца, световыми лучами определенной длины волны пропускание света различно в зависимости от количества оксигемоглобина и, следовательно, от степени насыщения крови кислородом, т. к. оксигемоглобин пропускает видимый красный свет (длина волны порядка 620—680 *ммк*) значительно лучше, чем восстановленный гемоглобин. При оксигемометрич. исследовании с одной стороны ушной раковины помещают источник света (небольшую электрич. лампу), а с другой — фотоэлемент, соединенный с усилителем пост. напряжения и чувствит. стрелочным гальванометром. Разработаны кюветные оксигемометры, позволяющие быстро и точно определять величину насыщения кислородом малой порции крови, взятой из участка кровеносной системы. Оксигемометрия применяется для определения у больных недостаточности дыхания и кровообращения. Так как на освещенность фотоэлемента влияют также пульсовые колебания кровенаполнения, то, регистрируя показания фотоэлемента малоинерционным прибором, можно записывать кривые объемного пульса.

На электрич. методах измерения оптич. величин основаны разработанные в последние годы способы автоматич. определения числа эритроцитов в единице объема крови. Такие приборы (электрогемоскоп, целлоскоп, сангвинометр и др.) основаны на разных технич. принципах. Наиболее прост электрогемоскоп фирмы Гелиге (ФРГ), в к-ром измерения производят на основании показаний фотоэлемента, освещенность к-рого меняется в зависимости от числа форменных элементов в тонком слое суспензии крови, помещенной между источником света и фотоэлементом. Прибор позволяет производить до 150 определений числа эритроцитов в крови за 1 час и обладает точностью до 2%. Подобные приборы разработаны и в СССР.

Электронная техника применяется в медицине для определения содержания кислорода, углекислого газа, азота во вдыхаемом и выдыхаемом воздухе (см. *Газа анализ*). В основу электрич. способов газоанализа положены различные физич. и физико-химич. показатели: парамагнитные свойства нек-рых газов (кислорода, окиси азота); поглощение инфракрасных лучей, неодинаковое для разных газов; различия в скорости распространения звука в газовых смесях разного состава; различия в их электропроводности; тлеющий разряд в разреженных газах. Используются для газоанализа масспектрометрия и полярография. Методы исследования газового состава воздуха, основанные на принципе масс-спектрометрии, наиболее точны и позволяют определять содержание различных газов во вдыхаемом воздухе, а также состав и концентрацию наркотических смесей. С их помощью можно быстро, точно и непрерывно регистрировать изменения состава газовых смесей, например альвеолярного воздуха в течение одного дыхательного цикла.

Телевизионная техника применяется в различных областях эксперимент. и клинич. медицины. Этой технике принадлежит большое будущее в усовершенствовании медицинских рентгеновских исследований. Сконструированы рентгентелевизионные аппараты, сочетающие обычную рентгеновскую установку с передающей и приемной телевизионными системами. В этих аппаратах изображение, получаемое на рентгеновском экране, посредством ряда зеркал и линз отбрасывается на передающую телевизионную трубку типа «Ортикон», соединенную с приемной телевизионной трубкой. Наблюдаемая при просвечивании лучами Рентгена картина рассматривается на экране телевизора. Электронная усилит. аппаратура обеспечивает большое увеличение яркости и контрастности изображения. Рентгеновские наблюдения могут вестись как в том же помещении, где находится пациент и аппаратура, так и в любом др. помещении больницы.

Главными преимуществами рентгентелевизионных установок по сравнению с обычными рентгеновскими аппаратами являются: 1) значительное снижение дозы рентгеновского облучения, к-рому подвергается больной; 2) резкое уменьшение или даже полное устранение рентгеновского облучения медицинского персонала; 3) бóльшая, чем в обычных рентгеновских аппаратах, четкость изображения; 4) возможность проводить исследование без затемнения помещения и, следовательно, отсутствие необходимости в предварит. темновой адаптации исследователя; 5) возможность наблюдений на расстоянии от больного, напр. студентами или врачами в аудитории.

Телевизионная техника получила применение в микроскопии. Для этой цели в тубус микроскопа монтируют передающую телевизионную трубку. Изображение микрообъектов просматривают на экране приемной телевизионной трубки. При этом могут быть достигнуты большая яркость и контрастность изображения. Сконструирован ультрафиолетовый телевизионный микроскоп. Освещение объекта исследования в нем производится от источника ультрафиолетовых лучей. Изображение, невидимое глазом при таком освещении, превращается затем в видимое и цветное. Разные цвета соответствуют разным длинам волн ультрафиолетового спектра. Ультрафиолетовый микроскоп, как обычный, так и в особенности телевизионный, обладает повышенной разрешающей способностью вследствие меньшей длины волны ультрафиолетовых лучей по сравнению с видимым светом и дает более контрастное изображение вследствие большего поглощения живыми объектами ультрафиолетовых лучей. С помощью телевизионного ультрафиолетового микроскопа можно рассматривать на экране цветного телевизора изображение живого незафиксированного и как бы окрашенного объекта. Большое достоинство этого микроскопа — значительно сниженная интенсивность облучения объекта исследования, вследствие чего вредное действие ультрафиолетовых лучей меньше сказывается на живых клетках и их можно наблюдать в течение длит. времени.

Телевизионная техника использована при эндоскопии и офтальмоскопии. Эндоскопией наз. осматривание поверхности слизистой оболочки нек-рых внутренних органов. Для

этого вводят в пищевод, желудок, бронхи или мочевой пузырь трубку-зонд с миниатюрной осветит. лампой и системой зеркал и линз, позволяющей видеть участки слизистой оболочки. На наружном конце зонда помещают малогабаритную телевизионную передающую трубку; изображение в увеличенном виде рассматривают на экране приемной трубки-кинескопа телевизора. Подобная же техника применена в приборе для рассматривания глазного дна с помощью офтальмоскопа, соединенного с передающей телевизионной трубкой.

Телевизионная техника позволяет вести наблюдение не одному человеку, а большой группе лиц, что имеет большое значение при подготовке и усовершенствовании врачей-специалистов. С помощью цветного телевидения можно демонстрировать студенческой или врачебной аудитории на расстоянии от операционной ход и технику различных хирургич. операций. Выдающееся значение приобрела телевизионная техника при физиологич. наблюдениях, проводимых при космич. полетах. Так изучалось поведение первых летчиков-космонавтов при подъеме, полете и спуске космич. кораблей-спутников.

Телерегистрация физиологических процессов. Развитие техники радиосвязи сделало возможным измерение физиологич. процессов у животного и человека на расстоянии (см. *Телеизмерение*).

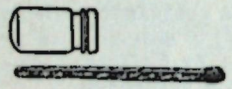


Рис. 12. Радиопилюля (эндорадиозонд) для регистрации pH.

При нек-рых телеизмерениях радиопередатчик помещают внутрь организма. Примером такого способа передачи физиологич. информации служат эндорадиозонды, или «радиопилюли», для исследования функций пищеварит. тракта. Эндорадиозонды, изобретенные одновременно в 1957 В. К. Зворыкиным в США, Маккеем и Якобсоном в Швеции и М. Ф. Ардение в ГДР, представляют собой миниатюрные радиопередатчики (длиной 12—25 *мм*, диаметром 8 *мм* — рис. 12), к-рые легко проглатываются человеком и дают затем по радио информацию о давлении, температуре и активной реакции (pH) в желудке и кишечнике. Сигналы радиопилюли воспринимаются антенной, помещаемой над областью живота испытуемого. Эти сигналы демодулируются частотным дискриминатором. Выходное напряжение пропорционально после этого частоте сигналов и, следовательно, исследуемому процессу, действующему на датчик. Радиоприемное устройство имеет на выходе записывающее устройство, позволяющее регистрировать кривые изменения исследуемого физиологич. процесса (рис. 13).

Радиопилюли для регистрации давления в пищеварит. тракте позволяют судить о двигат. функции мускулатуры желудка и кишечника (рис. 14). Они рассчитаны на определение давления в пределах 100—200 *см* вод. ст. Чувствительность их такова, что наименьшая величина определяемого давления равна 0,25% от полной шкалы. Радиопилюли для исследования кислотности желудочного сока дают возможность определять водородный показатель в пределах pH от 1 до 8 с точностью до 0,1. Радиопилюля для измерения температуры дает показания в пределах от 36° до 42°. С помощью эндорадиозонда с датчиком температуры можно обнаружить местные острые воспалит. процессы в кишеч-

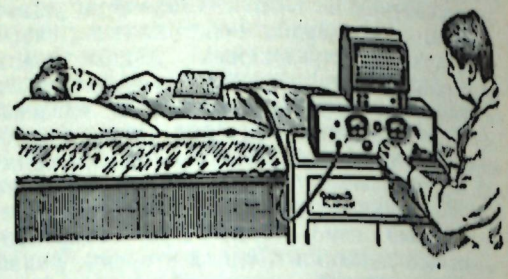


Рис. 13. Аппаратура, применяемая при исследованиях с помощью радиопилюль. (По Ардение).

нике. Зворыкин с сотрудниками в 1960 сконструировал радиопилюлю с внешним источником питания и без транзистора. В основу

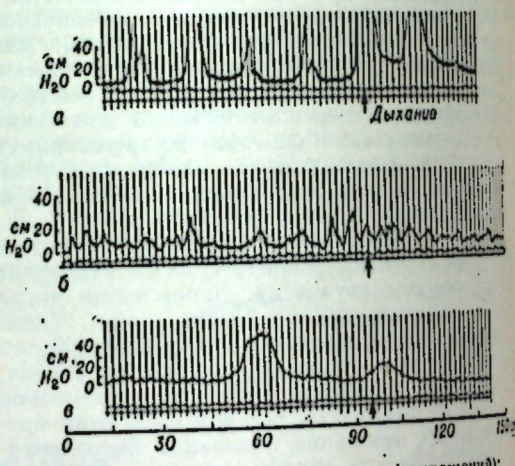


Рис. 14. Запись колебаний давления (сокращений): *а* — желудка; *б* — тонкой кишки; *в* — слепой кишки. Под кривыми давления запись дыхания. Внизу — время в сек. (По Фаррару, Зворыкину и др.).

конструкции положен принцип «звенящего контура», схема устройства показана на рис. 15.

Получили применение, в особенности при исследованиях в области физиологии труда

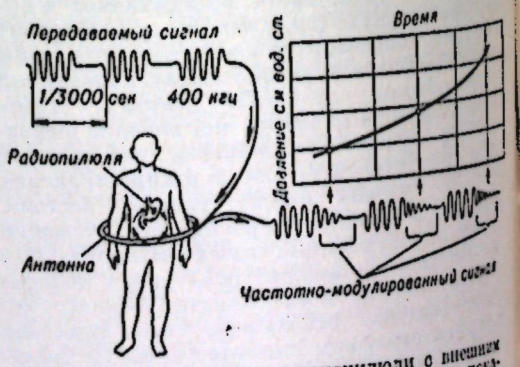


Рис. 15. Схема работы радиопилюли с внешним источником питания. Справа — диаграмма, показывающая зависимость частотной модуляции от регистрируемого давления. (По Фаррару, Зворыкину и др.).

и спорта, способы радиотелеметрич. передачи, при к-рых портативный радиопередатчик и антенну помещают на поверхности тела испытуемого — в шлеме или в кармане костюма (рис. 16). Радиопередатчик имеет относительно небольшую мощность и сигналы передаются на расстояние от неск. *м* до неск. *км*. Для получения требуемых малых габаритов и веса аппаратуры пользуются источниками



Рис. 16. Шлем с радиопередатчиком и антенной для телеметрич. передачи информации о физиологич. процессах. На руку надета аппаратура для регистрации движений в локтевом суставе. (По Шувалову).

тока малых размеров (окиснортутные, серебряно-цинковые аккумуляторы), миниатюрными радиодеталями и транзисторами (см. *Микроминиатюризация*). Приемно-передающая аппаратура работает обычно в ультракоротком диапазоне (порядка 30—40 *Мгц*). Телерегистрация применяется для изучения электрокардиограммы, фонокардиограммы, пульса, дыхания, электромиограммы, электроэнцефалограммы, оксигемограммы, для измерения температуры тела у рабочих, работающих на производстве, у спортсменов в ходе спортивных состязаний. Радиотелеметрия в условиях полной свободы передвижения человека или животного весьма полезна для решения ряда вопросов физиологии высшей нервной деятельности. Возможна одновременная передача посредством радиосвязи сведений о неск. различных процессах.

Радиотелеметрич. передача физиологич. информации производится и на очень большие расстояния (сотни или тысячи *км*) от объектов, находящихся в замкнутом пространстве при отсутствии у них большой двигат. активности. Такой способ телепередачи физиологич. информации был впервые применен для регистрации физиологич. показателей, характеризующих состояние летчика во время полета в самолете. При этом была использована бортовая радиоаппаратура. Посредством телеметрии было изучено состояние первых летчиков-космонавтов во время полетов в космич. кораблях. При этом одновременно в определенные моменты передавалась по многим каналам информация о неск. различных физиологич. процессах.

Переработка и анализ информации. Электронную технику применяют для переработки и автоматич. анализа информации, получаемой при использовании различных физиологич. методик. Она значительно облегчает труд лабораторных работников и делает вместе с тем исследование более полным и содержательным. Электронные приборы применяются для векторного, частотного, амплитудного и корреляционного анализа, а также для автоматич. дифференцирования и интегрирования кривых различных физиологич. процессов. Применение векторного анализа необходимо потому,

что большинство физиологич. процессов имеет определенную пространственную ориентацию в организме. Пространственную динамику физиологич. процессов регистрируют с помощью электронолучевого осциллоскопа. Для этого на одну пару пластин, отклоняющих луч прибора, подают сигналы исследуемого процесса, происходящего в одном направлении, а на другую пару пластин — сигналы того же процесса, но происходящего в другом, перпендикулярном к первому, направлении. При одновременном подключении тех и других сигналов на обе пары пластин осциллоскопа на его экране рисуется фигура Лиссажу, представляющая в данном случае годограф, описываемый радиус-вектором исследуемого процесса.

С помощью электронолучевого осциллоскопа регистрируют векторэлектрокардиограмму (рис. 17, *а*), векторбаллистокардиограмму, вектординамокардиограмму (рис. 17; *б*) и проводят анализ распространения на плоскости электрич. и механич. процессов, связанных с сердечной деятельностью.

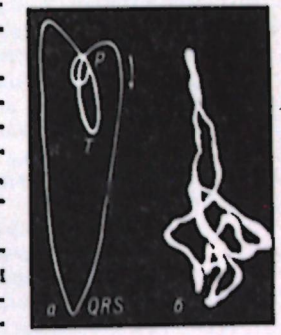


Рис. 17. Векторэлектрокардиограмма (*а*), вектординамокардиограмма (*б*).

Векторная баллистокардиограмма и векторная динамокардиограмма позволяют определить равнодействующую суммы сил, вызывающих механические проявления сердечного сокращения, к-рые происходят вдоль и поперек продольной оси тела в каждый данный момент сердечного цикла. Регистрируемая при таком способе исследования кривая — векторная баллистокардиограмма, векторная динамокардиограмма — имеет сложный рисунок, при рассмотрении которого обнаруживаются характерные петли. Наряду с этим могут быть разработаны методики регистрации посредством электронолучевого осциллоскопа распространения исследуемых процессов в пространстве. Такая методика, разработанная в отношении пространственного распределения на поверхности тела человека электрич. потенциалов сердца (В. Лауфбергер, Чехословакия), наз. пространственной электрокардиографией, или спациоэлектрокардиографией (рис. 18).



Рис. 18. Спациоэлектрокардиограмма. (По Лауфбергеру).

При электронных методах частотного анализа различных физиологич. процессов с помощью широкополосных или узкополосных фильтров исключают из регистрируемой кривой определенные частоты или же, наоборот, оставляют только их. Частотный анализ применяется при анализе электроэнцефалограмм, электромиограмм, фонокардиограмм и др. кривых. Важно, что при многих нарушениях

норм. состояния организма, его органов и систем происходят характерные нарушения частоты электрич., акустич. и механич. процессов. Так, при ряде форм патологии сердца резко изменяется частотный спектр акустич. явлений в сердце. При наркозе в зависимости от его стадии, а также при опухолях мозга и нек-рых его заболеваниях происходят характерные изменения частоты биологич. потенциалов головного мозга. Иногда сочетают частотный анализ с интегрированием, что позволяет определить суммарный потенциал колебаний определенной частоты за единицу времени. При частотном анализе нек-рых, напр. акустич. явлений, иногда важно не исключать какие-либо частоты, а, напротив, подчеркнуть их неодинаковым усилением потенциалов разной частоты. Напр., в фонокардиографии коэфф. усиления ВЧ значительно поднимают (по логарифмич. шкале) по сравнению с коэфф. усиления НЧ. При электронных способах амплитудного анализа через схему могут проходить (или не проходить) токи выше определенного уровня.

Электронные схемы применяются для автоматич. дифференцирования и интегрирования. В результате дифференцирования получают первую и вторую производную от любого процесса, что позволяет определять его скорость и ускорение. Началось использование электронных вычислительных машин — АВМ (см. *Аналоговая вычислительная машина*) и ЦВМ (см. *Цифровая вычислительная машина*). Разработаны устройства для автоматич. расшифровки электрокардиограмм, исследования взаимодействия и соотношения электрич. явлений в головном мозге.

Перспективно применение вычислит. машин для постановки диагноза и назначения лечения. Имеется уже небольшой опыт, приобретенный в нек-рых спец. разделах клинич. медицины: офтальмологии, гематологии, кардиологии. Для диагностики посредством ЦВМ в ЗУ вводят симптомы разных заболеваний. Затем, установив симптоматику у данного конкретного больного, в машину вкладывают перфокарту, соответствующую этой симптоматике, и запрашивают у машины возможный диагноз. Машина выдает его соответственно с тем алгоритмом, который был в нее заложен. Диагностич., а в дальнейшем и терапевтич. машины, назначающие наиболее целесообразное лечение, должны стать в будущем надежными помощниками врача. В СССР успешный опыт применения ЦВМ для диагностики заболеваний сердца накоплен в лаборатории кибернетики Ин-та хирургии им. Вишневского.

Большое практич. значение имеют ЦВМ в медицинской статистике и демографии. Благодаря им должна возрасти роль медицинской статистики как одного из способов анализа причин заболеваемости и смертности. Вследствие своего быстродействия ЦВМ делают осуществимой проверку множества предположений о связи определенных заболеваний с изменением отдельных условий внешней среды и нарушениями соотношений в деятельности различных внутренних органов.

Электронные методы воздействия на организм. Среди электронных приборов, позволяющих воздействовать на организм различными видами энергии, особенно широко применяются электронные стимуляторы, предназначенные для электрич. раздражения нервной и мышечной систем. При этом можно менять форму отдельных электрич. раздражений и действовать на живую ткань стимулами прямоугольной, пилообразной, синусоидальной, экспоненц. или какой-либо другой формы. Электронные стимуляторы позволяют менять крутизну нарастания напряжения или тока от нулевого до желаемого значения, а также изменять длительность каждого отдельного электрич. стимула, его напряжение и силу. Изменение этих параметров необходимо для измерения одного из основных свойств нервной и мышечной тканей — возбудимости. Изменяя напряжение и ток, определяют порог раздражения, т. е. тот миним. ток или то миним. напряжение, к-рые необходимы для вызова возбуждения. Изменяя длительность действия электрич. стимула, измеряют временные параметры возбудимой ткани: полезное время и хронаксию, т. е. то миним. время, в течение к-рого электрич. раздражение определенной интенсивности должно действовать на ткань для того, чтобы вызвать в ней возникновение возбуждения. Пользуясь электронным стимулятором, посылают к живой ткани импульсы в определенной последовательности и разной частоты повторения. Действуя на нерв или мышцу двумя стимулами с определенным промежутком между ними, измеряют рефрактерность, т. е. состояние резко пониженной возбудимости, наступающее вслед за возникновением возбуждения. Изменение всех перечисленных параметров электрич. стимулов позволяет подобрать наиболее адекватный, соответствующий функциональным свойствам возбудимых тканей, характер раздражений.

Электронные стимуляторы удобны для ритмич. раздражений в широком диапазоне частот. Так определяют способность возбудимых тканей к усвоению ритма раздражений, что позволяет судить о функциональной лабильности живых тканей, т. е. способности их воспроизводить ритм раздражений, соответствующий ритмам возбуждений (Н. Е. Введенский). Разработана методика электрич. стимуляции на расстоянии от живого объекта, без проводов. В организм вживляют радиочастотный приемный контур, находящийся в резонансе с определенной частотой. От приемного контура к нерву, нервному центру, скелетной мышце или сердцу отходят провода, соединенные с вживленными в орган электродами. На расстоянии от животного, напр. под его клеткой, устанавливают передающую антенну, соединенную с импульсным генератором, работающим на частоте 2—50 *Мгц* (рис. 19). Эта радиочастота, воспринимаемая приемным контуром, на выходе его детектируется. С помощью такого стимулятора раздражают одиночными или ритмич. стимулами органы и ткани у животного, к-рому предварительно была сделана операция вживления приемного контура и электродов. Описанный способ применен для электрич. стимуляции сердца у человека.

Электрич. стимуляция в клинич. практике давно уже служит диагностич. методом. Посредством ее определяют в нервной клинике возбудимость периферич. нервов и мышц. В нейрохирургич. клинике электрич. стимуляция разных участков коры больших полушарий головного мозга производится нередко на операционном столе для выяснения их функционального значения. Электрич. стимуляция используется также и в лечебных целях для возбуждения деятельности нек-рых органов и систем организма. Так, электрич. ритмическая стимуляция диафрагмального нерва применяется для возбуждения дыхат. движений при их остановке. Эффективна электрич. стимуляция сердца, вошедшая в клинич. практику. Электрич. стимуляцию для восстановления работы сердца в случае его остановки или нарушения проведения импульса в нем и резком замедлении сердечных сокращений производят внешними электродами, прикладываемыми к поверхности грудной клетки, или внутренними электродами, вводимыми внутрь сердца или вкалываемыми в миокард желудочков. Использование полупроводниковых триодов (транзисторов), миниатюрных радиодеталей и малогабаритных источников питания сделало осуществимым создание электронных стимуляторов столь малых размеров, что их оказалось возможным вживлять в тело человека. Так, сконструированы стимуляторы диаметром 3—6 *см* и толщиной 1,5—2 *см*. Один из таких стимуляторов питается аккумулятором в течение 8—10 дней. Подзарядка аккумулятора производится каждые 7—8 дней индукционным током без проводной связи от спец. зарядного устройства, помещенного над тем участком тела, куда вживлен стимулятор. Электронная схема второго вживляемого стимулятора сконструирована так,

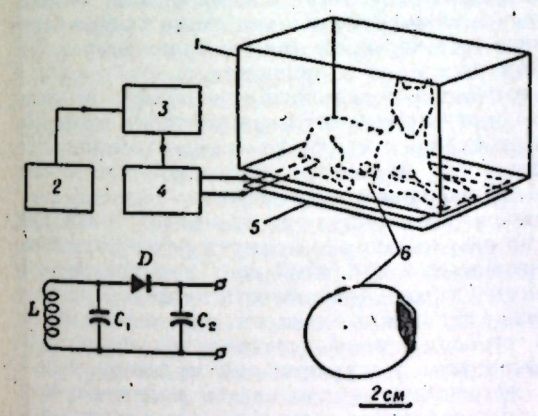


Рис. 19. Схема установки для радиочастотной стимуляции сердца собаки (по Верцеано и др.). Внизу слева — схема радиоприемного устройства: L — катушка; C_1 — конденсатор 200 *пф*; C_2 — конденсатор 0,01 *мкф*; $Д$ — выпрямительный диод (3,7 *в*). Внизу справа — внешний вид приемного устройства, от к-рого идут проволочные электроды к сердцу. Все детали покрыты зубным цементом. *1* — неметаллическая клетка; *2* — генератор импульсов; *3* — регулятор частоты; *4* — передатчик; *5* — антенна; *6* — приемное устройство.

что для ее питания не требуется большой мощности, и миниатюрная батарея внутри прибора обеспечивает непрерывную стимуляцию сердца в ритме 80 в мин. на протяжении от 3 до 5 лет (рис. 20).

Электронная техника используется и при ряде др. лечебных воздействий: при ультравысокочастотной терапии, диатермии, ультразвуковой терапии. Ультразвуковые воздействия большой частоты (порядка 800—1000 *кгц*) применяют при хирургич. операциях для разрушения отложений кальция на обизвествленных сердечных клапанах. Фокусированный пучок ультразвуковых колебаний используют для разрушения клеток опухоли мозга.

Сконструирована ультразвуковая зубоврачебная бормашина. Вместо вращающегося бора или фрезы в ультразвуковой бормашине имеется тонкий стержень, вибрирующий с ультразвуковой частотой. При прикладывании к зубу он разрушает костную ткань и позволяет высверлить нужное отверстие. При определенной частоте ультразвука бормашина не оказывает влияния на мягкие ткани.

Электронное моделирование физиологич. процессов. Электронное моделирование имеет главной задачей создание машин, совершающих действия, подобные тем, к-рые происходят в организме и, в частности, в нервной системе. Любая искусственная имитация физиологич. процессов, как бы совершенна она ни была, не может полностью воспроизвести качественные особенности моделируемого процесса. Путем моделирования можно добиться лишь внешнего сходства, аналогии (а отнюдь не тождества) явлений, происходящих в модели, с одной стороны, и в организме, с другой. Однако от этого моделирование не теряет своего значения в биологии и медицине. С его помощью удается иногда обнаружить возможные механизмы нек-рых явлений, проверить теоретич. представления об их происхождении и даже предсказать существование зависимостей, ранее не наблюдавшихся.

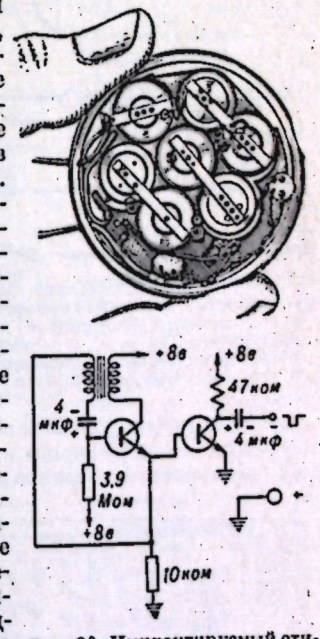


Рис. 20. Имплантируемый стимулятор с батареей, обеспечивающей питание схемы на протяжении 5 лет. Вверху — прибор без верхней крышки. Внизу — электронная схема. (По Чердаку и др.).

Существуют электронные машины, моделирующие электрокардиограммы. Первая модель была создана в 1929 Ван-дер-Полем и Ван-дер-Марком (Франция). Она была сконструирована на основе теории *релаксационных колебаний*. В результате опытов на модели ее авторы предположили возможность возникновения в условиях патологии таких нарушений сердечного ритма, к-рые в то время были неизвестны, но вскоре их обнаружили в клинич. практике. Значительно более сложная электронная модель для воспроизведения электрокардиограмм разработана группой сов. инженеров совместно с физиологами и клиницистами (И. Т. Акулиничев, Е. Б. Бабский, В. Б. Ушаков и др.). Теоретич. ее основой являлось представление, что электрокардиограмма — это результат алгебраич. суммирования разнонаправленных и не вполне синхронных потенциалов правого и левого предсердий и правого и левого желудочков. Исходя из этого, были сконструированы электронные блоки, генерирующие потенциалы определенной формы, характерной для указанных

отделов сердца, и автоматически их суммирующие (рис. 21 и 22). Так удалось проверить правильность теории и сделать нек-рые дополнит. допущения, чтобы объяснить отдельные несоответствия теории с фактами.

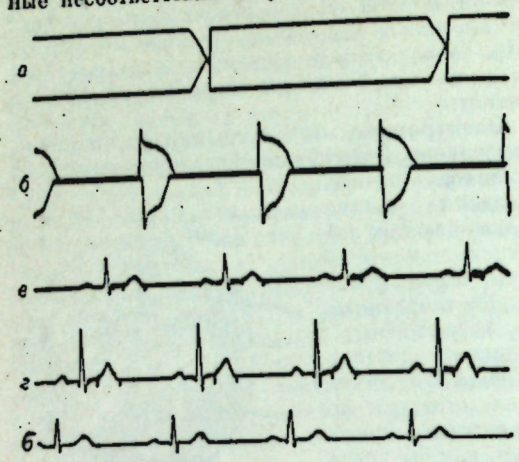


Рис. 21. Воспроизведение электрокардиограмм электронной моделью: монофазные кривые правого и левого предсердий (*а*) и правого и левого желудочков (*б*); *в*, *г*, *д* — электрокардиограммы в трех стандартных отведениях. (По Акулиничеву, Бабскому и др.).

Созданы модели для объяснения механизмов цветного зрения, нервного проведения и реакций центральной нервной системы. Особое

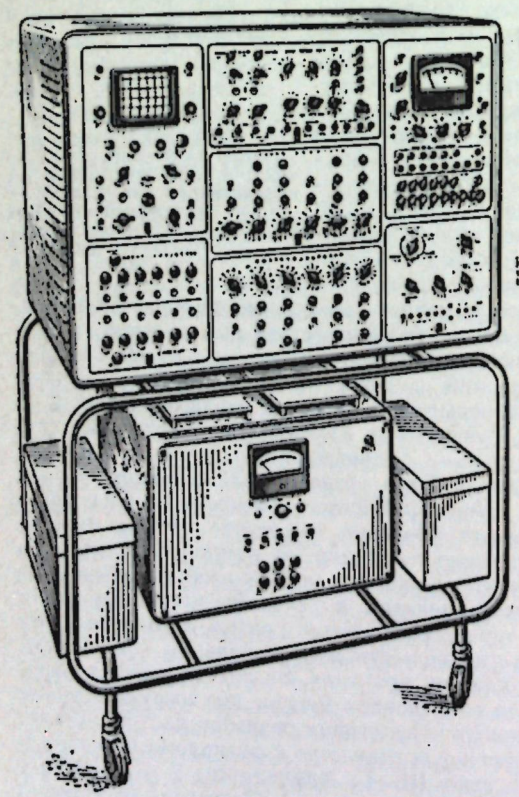


Рис. 22. Общий вид прибора для электронного моделирования электрокардиограмм.

внимание привлекают электронные модели нейронов и самообучающиеся автоматы, воспроизводящие образование временных связей и условно-рефлекторные реакции. Сконструированы электронные механизмы, моделирующие зависимость движений от внешних условий. Такие механизмы-автоматы часто имеют внешний облик различных животных или «копируют» их поведение. Так сконструированы электронные «черепахи», «мыши», «лисицы», «белки», «щенки». Обязат. элементами в электронных схемах этих механизмов являются рецепторы, воспринимающие световые и звуковые сигналы, прикосновение, толчок и др. Для этого служат фотоэлементы, микрофоны, преобразователи механич. воздействий в электрич. сигналы. Движения в этих автоматах осуществляются двигателями, запускаемыми определенными сигналами или их сочетаниями. Необходимым элементом конструкции подобных механизмов-автоматов является *обратная связь*.

Первые электронные «черепахи» в трех различных вариантах были созданы бристольским биофизиком и нейрофизиологом Грей-Уолтером в 1950—51. Они известны под названием «Эльзи» (от заглавных букв слов: Electro — Light — Sensitive — электро-светочувствительный), «Эльмер» (от слов: Electro-Mechanical Robot — электромеханич. робот), «Кора» (от слов: Conditional Reflex Automat — условно-рефлекторный автомат). Первые две искусственные черепахи Грей-Уолтера имели два рецептора, из к-рых один реагировал на свет, а другой — на механич. толчки, и два двигателя, один — продвигающий «черепаху» вперед, и другой — заставляющий ее двигаться вбок. Электронная схема предусматривала, что черепаха как бы привлекается слабым светом, т. е. движется в его сторону и уклоняется от сильного источника света. Если же заряд аккумулятора, питающего электронную схему, падает, то «рефлекторная реакция» или «тропизм» уклонения от яркого света извращается, и черепаха начинает двигаться в сторону яркого света. Последний при разряженном аккумуляторе дает такой же сигнал, как и слабый свет при заряженном аккумуляторе. Способность автомата при разрядке источника электрич. питания двигаться в сторону яркого света использована для автоматич. подзарядки аккумулятора. Рядом с источником яркого света помещают контакты зарядного устройства и аккумулятор автоматически заряжается, когда черепаха приходит с ними в соприкосновение. Когда же аккумулятор заряжается, то автомат начинает двигаться в сторону, противоположную от яркого света, и аккумулятор отключается от зарядного устройства.

«Кора» имела усложненную конструкцию — дополнит. чувствительный к звуку элемент — микрофон. Конструкция этой «черепахи» предусматривала моделирование условного рефлекса. В качестве «условного раздражителя» применялся звуковой сигнал, а в качестве «безусловного подкрепления» — механич. раздражитель — наезд на препятствие и вызванный этим толчок. Приблизительно после 20 совпадений звука и толчка «Кора» начинала реагировать на звук также, как и на толчок, отодвиганием, объездом препятствия. Таким образом, «черепахи» Грей-Уолтера, по его выражению, «подражают нек-рым элементарным чертам поведения животных» (см. *Уолтера черепаха*).

Более сложные конструкции электронных «животных» были разработаны в Вене Эйхлером и Земенеком, в Москве — Р. Р. Васильевым и А. М. Петровским, в Париже — Дюкромом и др. Программа работы этих автоматов, определяемая их электронной схемой, предусматривает после нек-рого числа сочетаний «условного» и «безусловного» сигналов образование «условного рефлекса», т. е. реакцию автомата в ответ на сигнал, к-рый прежде не вызывал ее.

Для моделирования функций центральной нервной системы создан еще ряд других сложных механизмов. Таковы «обучающийся» автомат, построенный группой студентов Московского энергетического института, машина условной вероятности Аттли, персептрон Розенблата и др. Нек-рые из них способны связывать любое свое действие с любым из действующих на них сигналов. Автомат студентов МЭИ мог вырабатывать цепь «рефлексов», в к-рых одно действие автоматически вызывает затем следующее. Электронное моделирование сложных актов поведения живых организмов имеет не меньшее, а, по всей вероятности, гораздо большее значение для техники, чем для физиологии и медицины. Воспроизведение закономерностей функционирования организма, давно известных биологам и медикам, может подсказать новые принципы конструкции автоматически действующих машин и механизмов (см. *Бионика*).

Электронное управление. Большое будущее принадлежит использованию в медицинских целях способов автоматич. регулирования и управления процессами жизнедеятельности, основанных на применении электронных приборов. При автоматич. управлении какой-либо процесс, возникающий в организме или достигающий определенного уровня, служит в качестве управляющего сигнала, запускающего автомат, который воздействует на организм, изменяя его состояние в нужном направлении. Автоматы используются также в приборах, служащих для исследования различных физиологич. процессов. Они позволяют изучать и измерять их в определенный момент жизнедеятельности, напр. в определенную фазу сердечного цикла или дыхания.

Применение автоматов в медицинской практике может быть весьма многообразно. В большинстве из них управляющими сигналами являются биотоки, возникающие в разных органах. Так, зубцы *P* или *R* электрокардиограммы были использованы в качестве управляющего сигнала, включающего с желаемой задержкой электронный стимулятор. Подобный способ применен для рентгеносъемки сердца в определенные моменты его сокращения или расслабления, т. е. в определенную фазу сердечного цикла. В рентгеновском аппарате, снабженном соответствующим приспособлением, освещение фотопластинки происходит на кратчайшее время многократно (для того чтобы получить четкое изображение тени сердца) и всякий раз через определенный интервал после появления электрокардиографич. зубца *R*. Этот же принцип управления от зубца *R* был применен для записи электрокардиограммы не в виде непрерывной линии, а по отдельным циклам. В таком приборе (кардиоциклографе) зубец *R* электрокардиограммы переводит с нек-рой задержкой луч электронолучевого осциллографа на новую строчку. В результате на записи электрокардиограммы отдельные сердечные циклы расположены один под другим. Чем дольше длится сердечный цикл, тем длиннее соответствующая строчка электрокардиограммы на записи. Прибор удобен для наблюдения нарушений сердечного ритма (рис. 23).

Принцип автоматич. управления сердечной деятельностью использован в электронном приборе, получившем название кардиомонитора (monitor — напоминающий, надзирающий). Этот прибор состоит из электрокардиографа, электронного стимулятора, посылающего возбуждающие импульсы к сердцу, и управляющей схемы. В случае остановки сердечной деятельности и прекращения электрокардиограммы более чем на 10 сек. управляющая схема автоматически включает стимулятор, который восстанавливает работу сердца. Кардиомонитор получил применение в хирургич. операционной. Аналогичные приборы сконструированы для управления ритмом сердечной деятельности. Они включают стимулятор, как только ритм сердечных сокращений замедляется ниже уровня, обеспечивающего достаточное кровоснабжение организма. Электронный стимулятор заставляет сердце работать в заданном ритме и нормализует сердечный ритм.

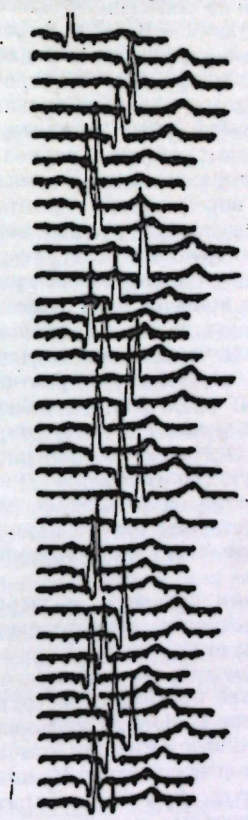


Рис. 23. Кардиоциклограммы здорового человека с отчетливо выраженной дыхательной аритмией.

Разработаны электронные приборы, регулирующие уровень артериального давления, в к-рых управляющий сигнал возникает при понижении давления в сосудах ниже определенного уровня. Аппаратура автоматически включает механизм, посредством к-рого вводятся в кровь вещества, повышающие артериальное давление. Сделаны попытки создать приборы, управляющие одновременно и ритмом сердечной деятельности и уровнем артериального давления при гипертонии. Управляющие сигналы в этих приборах действуют на центростремит. нервные волокна, идущие от каротидного синуса и имеющие непосредственное отношение к естественной регуляции уровня артериального давления и сердечного ритма.

Сконструированы приборы для автоматич. управления искусственным дыханием, где управляющими сигналами служат импульсы (биотоки), проходящие по диафрагмальному нерву от дыхат. центра. Этими импульсами регулируется работа аппарата для искусственного дыхания, нагнетающего воздух в легкие. При применении такого прибора ритм дыхания у животных зависит от состояния и деятельности нервных центров регуляции дыхания так же, как это происходит в естественных условиях.

Принципы управления от электронной аппаратуры использованы в конструкции приборов для автоматич. контроля глубины наркоза во время хирургич. операций. Автоматические наркотизаторы, или, иначе, сервомеханизмы для поддержания определенного уровня наркоза, разработаны Бикфордом (США) в 1950 и несколько усовершенствованы Бельвиллем и Артузио в 1954 (США). Управляющими сигналами, регулирующими подачу наркоза, являются в этих приборах электрич. колебания в головном мозгу, зарегистрированные электроэнцефалографом, ритм и амплитуда к-рых различны в разных стадиях наркоза. Для формирования управляющего сигнала выделяют колебания определенной частоты, характеризующие определенную стадию наркоза, и с помощью электронного интегратора получают суммарный потенциал соответствующей частоты за единицу времени. Этот суммарный потенциал регулирует, согласно установленной программе, количество подаваемого эфира или внутривенно вводимого наркотич. вещества, поддерживая определенную стадию наркоза. Аппарат увеличивает подачу наркотич. вещества в том случае, если электрич. активность соответствует более ранней, чем желаемая, стадии наркоза, и отключает подачу наркотич. препарата как только наркоз углубляется по сравнению с требуемой стадией.

Биотоки мышц культи человека, подвергшегося ампутации конечности, использованы в качестве управляющих сигналов, регулирующих автоматически с помощью сервомеханизма движения протеза. Такие протезы сконструированы А. Е. Кобринским, Я. С. Якобсоном и др. (Москва). Отводимые от мышц сгибателей и разгибателей плеча электрич. потенциалы поступают на вход двух малогабаритных усилителей, помещаемых в гильзе протеза. Суммарный потенциал, получаемый интегрированием электрич. активности мышц сгибателей плеча, приводит в действие сервомеханизм, вызывающий сгибание пальцев, а суммарный потенциал, получаемый интегрированием электрич. активности мышц разгибателей плеча, вызывает разгибание пальцев протеза. Так создается возможность для протезированного человека автоматич. управлять движениями кисти искусственной руки.

Лит.: Бабский Е. Б. и Ульянинский Л. С., Электрическая стимуляция сердца, М., 1961; Брайнес С. Н., Напалков А. В., Свечинский В. Б., Нейрокибернетика, М., 1962; Водолазский Л. А., Техника клинической электрографии, М., 1952; Гаазе-Рапопорт М. Г., Автоматы и живые организмы, М., 1961; Гуляев П. И. и Жуков Е. К., Методы электрофизиологических исследований, Л., 1948; Костюк П. Г., Микроэлектродная техника, Киев, 1960; Кренс Е. М., Оксигемометрия, Л., 1959; Ливанов М. Н. и Ананьев В. М., Электроэнцефалоскопия, М., 1959; Стэси Р., Электроника для биологов и медиков, пер. с англ., М.—Л., 1962; Соколова Л. С. и Шванг Л. И., Техника электроэнцефалографических исследований, Л., 1954; Хомазюк В. Г., Элементы электроники, М., 1958; (Практикум по общей биофизике, вып. 2); Шмиников Г. А., Электрические измерения в физиологии и медицине, М., 1956; Шуватов Л. П., Микроаппаратура для регистрации по радио некоторых физиологических функций, М., 1959; Электроника в медицине. Сборник, под ред. А. И. Берга, М.—Л., 1960; Medical Electronics. Proceedings of the Second International Conference on Medical Electronics, Paris, 24—27 June 1959, L., 1960, p. 253; Bibliography on medical electronics, N. Y., 1958 (Supplement 1, 1959; Supplement 2, 1960).

Е. Б. Бабский.

МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ (сокращенное обозначение СИ, или SI) (international unit system; système international des unités de mesure; Internationales Einheitssystem) — система единиц измерения физич. величин, принятая XI Генеральной конференцией по мерам и весам в 1960. В основу М. с. е. положены шесть основных единиц, приведенных в табл. Входящие в М. с. е. дополнительные и важнейшие производные единицы и переводные коэфф. — см. табл. на стр. 525—528. Электрич. и магнитные единицы М. с. е. устанавливаются для рационализированной формы ур-ний электромагнитного поля. Принятие единой для всех стран М. с. е. призвано устранить трудности, связанные с переводами численных значений физич. величин, а также различных констант из к.-л. одной действующей системы (СГС, МКГСС, МКСА и т. д.)

Основные единицы системы СИ

Наименование величины	Единица измерения	Сокращенные обозначения	
		русские	латинские
Длина	метр	*м*	m
Масса	килограмм	*кг*	kg
Время	секунда	*сек*	s
Сила электрич. тока	ампер	*а*	A
Термодинамич. темп-ра	градус Кельвина	°К	°K
Сила света	свеча	*св*	cd

в другую. Важным преимуществом М. с. е., кроме установления единообразия в единицах измерения, является охват ею всех областей науки и техники, полная связность в измерениях механич., тепловых, электрич. и др. величин, а также выбор удобных для практики основных и производных единиц (электрич. и магнитные единицы М. с. е. совпадают с единицами абс. практич. системы единиц МКСА). ГОСТ 9867—61 «Международная система единиц», введенный в действие с 1 января 1963, устанавливает предпочтительное применение этой системы в СССР во всех областях науки, техники, народного хозяйства, а также при преподавании.

Лит.: Бурдун Г. Д., Единицы физических величин, 2 изд., М., 1962; его же, Международная система единиц и современные эталоны исходных единиц измерения, «Инженерно-физический журнал», 1962, т. 5, № 12; Таблицы перевода единиц измерений, М., 1963.

Г. Д. Бурдун.

МЕЖДУНАРОДНАЯ ФЕДЕРАЦИЯ ПО АВТОМАТИЧЕСКОМУ УПРАВЛЕНИЮ, ИФАК [IFAC (International Federation of Automatic Control); IFAC (Fédération Internationale de Commande Automatique); IFAC (Internationaler Verband für automatische Steuerung)]. Предложение о создании ИФАК было сделано в сентябре 1956 в г. Гейдельберге (ФРГ) на Международной конференции по автоматич. регулированию, организованной Немецким обществом инженеров. Был создан подготовительный комитет во главе с проф. В. Бройдой (Франция). В 1957 в Париже состоялась Генеральная ассамблея ИФАК, которая приняла устав Федерации, избрала первого президента ИФАК Гарольда Честната (США). Исполнительный совет ИФАК в составе 11 членов, Консультативный комитет и приняла решение о проведении Первого международного конгресса ИФАК в Москве в 1960. Доктор Г. Руппель (ФРГ) был избран секретарем ИФАК, а доктор М. Кюэно (Швейцария) — казначеем ИФАК.

В соответствии с уставом, ИФАК—международная научная организация, основной целью к-рой является содействие развитию проблем автоматич. управления, обмен информацией, проведение международных конгрессов и симпозиумов.

Согласно уставу, каждая страна — член Федерации, может быть представлена в ИФАК одной национальной организацией, объединяющей специалистов в области автоматич. управления. Советский Союз представлен в ИФАК Национальным комитетом Советского Союза по автоматич. управлению (председатель — академик В. А. Трапезников). В сентябре 1959 в Чикаго состоялась Генеральная ассамблея ИФАК, избравшая президентом профессора А. М. Летова (СССР).

В ИФАК образованы научно-технич. комитеты: по теории автоматич. управления; по технич. средствам автоматики и телемеханики; по автоматизации производств. процессов; по терминологии и обозначениям; по образованию; по библиографии; по определению издательской политики ИФАК.

К концу 1962 года членами ИФАК являлись 26 стран: Австрия, Аргентина, Бельгия, Болгария, Великобритания, Венгрия, Дания, Израиль, Индия, Италия, Канада, Китай, Нидерланды, Норвегия, Польша, Румыния, СССР, США, Турция, Финляндия, Франция, Чехословакия, Швейцария, Швеция, Югославия, Япония.

В конце июля — начале августа 1960 в Москве был проведен Первый международный конгресс ИФАК по автоматич. управлению, на к-ром было заслушано и обсуждено 285 научных докладов. В конгрессе приняло участие около 2 тысяч советских и иностранных специалистов.

В сентябре 1961 президентом ИФАК был избран профессор Э. Гереке (Швейцария). Второй международный конгресс ИФАК состоялся в конце августа — начале сентября 1963 в Базеле (Швейцария). Комитет ИФАК по теории в мае 1962 провел в Риме международный симпозиум по самонастраивающимся системам, а в сентябре 1962 в Москве — международный симпозиум по теории конечных автоматов и релейных схем.

Комитет ИФАК по библиографии начал с 1961 года издание на английском и французском языках международной библиографии по автоматич. управлению. Исполнительный совет ИФАК издает информационный бюллетень и принял решение об издании на английском языке международного журнала по автоматич. управлению.

Б. Н. Наумов.

МЕМБРАНА (diaphragm; membrane; Membran) — упругий элемент в виде гибкой перегородки, плоской, гофрированной или более сложного профиля (рис. 1), закрепленной по периметру. Материалом неметаллич. М. служат: натуральная или синтетич. резина, прорезиненная ткань (хлопчатобумажная, шелковая, капроновая и др.), кожа, корд, пластмассы; металлических — фосфористая и бериллиевая бронзы, хромоникелевая сталь, фольга. Толщины М., применяемых в различных приборах и устройствах автоматич. управления, колеблются в пределах: неметаллич. — от 0,2—0,4 *мм* до 5—7 *мм* (кордовые М.); металлич.— от 0,05 до 1,5 *мм*. Чем тоньше М. и больше ее периметр, тем (при том же материале и профиле) она чувствительнее. Чувствительность и величина хода неметаллич. М. повышаются введением гофров, металлич. М. — сваркой или спаиванием гофрированных М. в виде коробки или блока. Резино-тканевые М. служат: чувствит. элементами, преобразующими изменения давления в линейные перемещения в дифманометрах, регулирующих, вычислит. и др. устройствах пневмоавтоматики; разделит. элементами

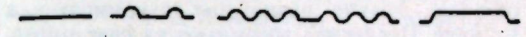


Рис. 1

в пневмо-гидроаккумуляторах; силовыми элементами в исполнит. механизмах пневматич. регулирующих клапанов и др. приводных устройствах, в мембранных насосах; уплотняющими выводными элементами в дифманометрах. Металлич. М. применяются в барометрах-анероидах, в измерит. устройствах, работающих в зонах высоких темп-р, а также в звукозаписывающих (диктофон) и звуковоспроизводящих (телефон) аппаратах.

Перемещение или усилие передается от М. соответствующим узлам приборов посредством деталей, укрепленных на ее жестком центре. Важнейшими хар-ками М., используемых в качестве чувствит. или силовых элементов, определяющими точность работы устройств автоматики, являются: зависимость эффективной площади $F_э$ от хода М. и от перепада давления Δp, под к-рым находится М. ($F_э = \frac{P}{\Delta p}$, где P — усилие, развиваемое М. и передающееся связанным с нею деталям устройства). Для резино-тканевых М. с жестким центром, плоскость к-рого совпадает с плоскостью заделки М. $F_э = \frac{1}{3}\frac{\pi}{4} \times (D^2 + Dd + d^2)$ (рис. 2). Характеристики изменения $F_э$ в ф-ции от хода М. должны быть линейными; приближение к этому достигается

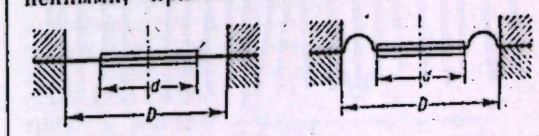


Рис. 2.

профилированием гофров М. либо созданием условий, при к-рых М. работает только на ограниченном участке хар-ки. В нек-рых случаях требование линейности предъявляется и к $F_э = f(\Delta p)$. Важное значение имеет также величина гистерезиса, которая должна быть минимальной.

Лит.: Феодосьев В. И., Упругие элементы точного приборостроения, М., 1949; Лоссиевский В. Л., Автоматические регуляторы, М., 1944; Афанасьев В. В., Об изменении эффективных площадей тканевых мембран, в кн.: Системы, устройства и элементы пневмо- и гидроавтоматики, М., 1959.

Г. Т. Березовец.

МЕМИСТОР, сопротивление с памятью (resistor with memory, memistor; memistor; Memistor), — электрохим. схемный элемент с электрически управляемым перем. коэфф. усиления (положительным и отрицательным), способный хранить его заданное значение.

М.— трехэлектродный прибор (электролитич. ванна, в к-рую помещены проводящая подложка с изолированными выводами и ме-

таллич. анод) — перем. сопротивление, величина к-рого изменяется вследствие электрохим. осаждения или удаления меди.

В отличие от *транзистора*, проводимость М. определяется не мгновенным, а интегральным значением тока по времени. При изменении анодного тока на неск. *ма* за 10 сек., сопротивление М. плавно изменяется от 100 до 1 *ом*.

М. изготовляются как непрерывные ряды перем. сопротивлений с большой воспроизводимостью и точностью, обеспечивающие создание тысячи возможных запоминающих уровней. Последние возникают за счет протекания пост. тока, а считывание осуществляется с помощью перем. тока без разрушения информации. Первые образцы М. были получены из обычного карандашного графита, погружаемого в пробирки с раствором медного купороса в серной кислоте. Затем стали использовать небольшие угольные сопротивления (0,1 *вт*) с плоской поверхностью (концы цилиндрические). Легкое покрытие родием обеспечивает гладкую поверхность подложки и защиту медных выводов. Изолируя эти выводы, все устройство запаивают в кожух. М. имеют очень малый разброс параметров.

На рис. 1 показаны залитые цилиндрич. элементы с изолированными выводами — стеклянная пластина с 21 М. Этот тип М. показал

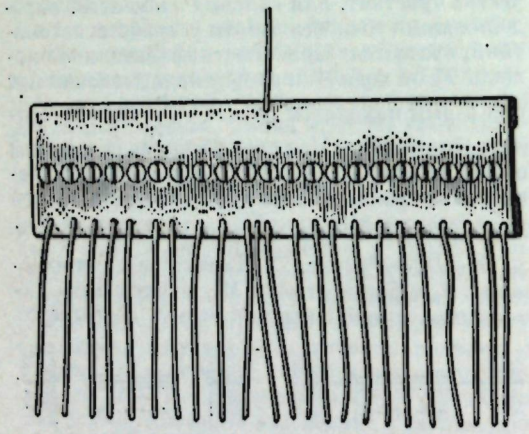


Рис. 1.

высокую надежность — за 11 месяцев работы, после проведения сотен тысяч гальванич. циклов, не было обнаружено к.-л. изменений электрич. хар-к. М. выдерживают изменения окружающей темп-ры 373—473° К и не чувствительны к ударам и вибрациям. М. используются для построения автоматически самонастраивающихся нейронов «Адалин» (рис. 2). Входные сигналы нейрона поступают через переключатели, регулировка направления и самоприспособления производится вручную. Направление процесса самоприспособления (нанесение или снятие покрытия) определяется алгебраич. произведением сигнала ошибки на входной сигнал, к-рое зависит от положения переключателей в схеме. Положит. и отрицат. усиление достигается за счет включения М. и эталонных сопротивлений в разные плечи моста. Считывание производится перем. напряжением, подаваемым на плечи моста со сдвигом фаз на 180°. При равенстве сопротивления М. и пост. сопротивления усиление равно нулю, при разбалансе оно отличается от нуля в одну или др. сторону. М. может обеспечить перем. усиление для одной цепи. Поэтому каждый нейрон использует число М., равное числу входных цепей плюс один.

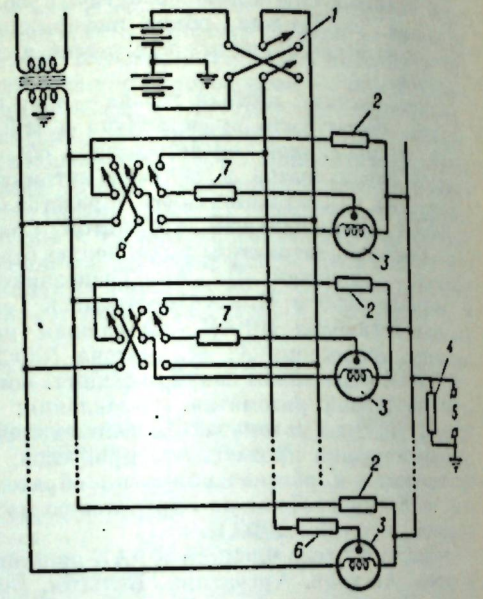
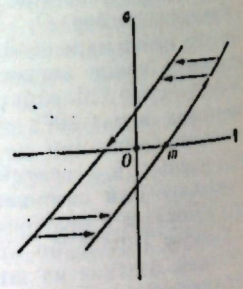


Рис. 2. Схема «Адалин» на мемисторах: *1* — переключатель самоприспособливаемости; *2* — эталонное сопротивление; *3* — мемистор; *4* — суммирующее сопротивление; *5* — выход к фазовому детектору; *6* — регулятор порога; *7* — ограничитель тока гальванизации; *8* — переключатель образа.

Лит.: Уидроу Б., Пирс В., Анджела Дж., Рождение, жизнь и смерть микроэлектронных систем, «ЗР», 1962, № 6, с. 125, 139—40; Widrow B., Angell J., Reliable, trainable networks for computing and control, «Aerospace Engng», 1962, v. 21, № 9, p. 121—23. *Е. Н. Гальперин.*

МЕРТВЫЙ ХОД, люфт (dead stroke; course à vide; toter Gang), — та часть перемещения входного элемента механич. устройства, к-рая не вызывает перемещения выходного элемента. На рис. представлена статич. характеристика устройства (золотника, сервомотора или др.), имеющего М. х., η — входная и σ — выходная координаты; m — величина люфта. Часто в САР, содержащих кинематич. устройства, имеет место М. х., вносящий нелинейность в хар-ку системы.



А. Г. Аде.

МЁССБАУЭРА ЭФФЕКТ, ядерный γ-резонанс (the Mössbauer effect; l'effet de Mössbauer; der Mössbauerischer Effekt), — новый вид спектроскопии электромагнитного излучения, основанный на явлении резонансного поглощения γ-квантов ядрами. Ядерное резонансное поглощение γ-квантов в принципе аналогично хорошо известному в оптике резонансному поглощению света атомами. Атомные ядра способны с макс. вероятностью поглощать γ-кванты, энергия к-рых равна резонансному значению E_0, соответствующему энергии возбужденного состояния ядра. При незначит. отклонении энергии квантов от этой величины эффективное сечение поглощения падает практически до нуля. Наблюдение резонансного поглощения γ-квантов обычно затруднено эффектами отдачи. Из законов сохранения энергии и импульса следует, что при испускании (или поглощении) γ-кванта ядром массы M часть энергии γ-перехода, равная $E_0^2/2Mc^2$ (где c — скорость света), должна быть затрачена на сообщение кинетич. энергии ядру отдачи. Вследствие этого линии испускания и поглощения оказываются смещенными одна относительно другой на величину E_0^2/Mc^2 и резонансное поглощение не имеет места (энергия E_0^2/Mc^2 всегда много больше естественной ширины линии Γ).

В 1958 Р. Мёссбауэр показал, что для ядер, связанных в твердом теле, при определ. условиях наблюдается испускание (и поглощение) γ-квантов без потери энергии на отдачу. При этом импульс отдачи передается кристаллу как целому; т. к. масса кристалла бесконечно велика по сравнению с массой ядра, потерь энергии на отдачу не происходит — при испускании и поглощении квантов внутр. состояние кристалла не изменяется и в спектрах испускания и поглощения присутствует линия с естественной шириной, не смещенная за счет отдачи и не уширенная вследствие теплового движения атомов кристалла.

Ядерный γ-резонанс отличается от др. известных резонансных явлений (резонансной оптич. флуоресценции, радиочастотного резонанса и др.) прежде всего узостью резонансных линий. «Остроту» резонанса можно характеризовать отношением Γ/E_0; вследствие больших значений E_0 в γ-резонансе (десятки *кэв*) это отношение в М. э. равно 10^{-12}—10^{-13}, что на неск. порядков меньше соответствующих величин в оптике или радиоспектроскопии. Это позволяет с помощью М. э. фиксировать ничтожные изменения энергии электромагнитного излучения и производить эксперименты, к-рые прежде лежали далеко за пределами возможной точности измерений (напр., эксперимент Паунда, измеривший изменение энергии γ-излучения в гравитационном поле Земли).

Узость мёссбауэровского резонанса обусловливает относит. простоту эксперимент. установок, необходимых для измерения М. э. При отклонении энергии γ-квантов от резонансного значения на очень малую величину (порядка неск. Γ) вероятность резонансного поглощения становится исчезающе малой. Такое изменение энергии γ-квантов легко осуществить, сообщив источнику (или поглотителю) нек-рую скорость v. При этом вследствие эффекта Доплера энергия линии испускания (или линии поглощения) изменится на величину $E_0 v/c$. Для сдвига линии на величину, равную неск. Γ, достаточны скорости порядка неск. *мм/сек* или *см/сек*. В схеме типичной установки для исследования мёссбауэровского резонанса (рис. 1) поглотитель $П$ расположен между

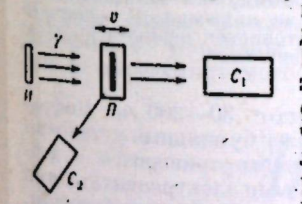


Рис. 1. Схема установки для исследования эффекта Мёссбауэра: $И$ — источник γ-квантов; $П$ — поглотитель; C_1, C_2 — счетчики квантов.

источником γ-квантов $И$ и счетчиком квантов C_1. Механич. или электромагнитным устройством поглотителю сообщается скорость v относительно источника. Счетчик C_1 регистрирует поток квантов, прошедший через поглотитель, при различных значениях скорости v. Такие измерения позволяют непосредственно найти зависимость эффекта резонансного поглощения от v, т. е. получить спектр резонансного поглощения. Можно измерять и интенсивность рассеянного излучения; в этом случае счетчик помещается в положение C_2. Установки для исследования М. э. могут быть сделаны весьма простыми и компактными, что существенно для возможных технич. применений.

Чтобы вероятность испускания (или поглощения) квантов без потери энергии на отдачу была достаточно большой, необходимо, чтобы энергия отдачи $E_0^2/2Mc^2$ была малой. В первом приближении $E_0^2/2Mc^2 \lesssim k\Theta$ (где k — постоянная Больцмана, Θ — характеристическая дебаевская темп-ра кристалла). Из этого следует, что М. э. практически можно наблюдать для γ-переходов, энергия к-рых не превосходит 100—150 *кэв*. Это условие кажется весьма жестким, однако М. э. уже обнаружен для γ-излучения 20 различных изотопов. Вероятность М. э. возрастает с понижением темп-ры, поэтому в ряде случаев для его наблюдения необходимо охлаждать источник и поглотитель жидким азотом или гелием. Однако во многих случаях (изотопы Fe^{57}, Sn^{119}, Dy^{161} и др.) большая величина М. э. наблюдается даже при нагревании источника или поглотителя до темп-р в неск. сотен градусов, что существенно расширяет возможности методики ядерного резонанса и облегчает его практич. применение.

В научных исследованиях М. э. дает возможность наблюдения изменений энергии γ-перехода при взаимодействии ядра с окружающей средой. Взаимодействие ядер с электрич. и магнитными полями приводит как к изменению энергии γ-перехода («изомерный химич. сдвиг»), так и к расщеплению линий испускания и поглощения на отд. компоненты (сверхтонкая структура). Если величина сдвига или расщепления больше естественной ширины линии Γ, то условие резонанса нарушается. Однако оно может быть восстановлено с помощью эффекта Доплера при сообщении источнику или поглотителю соответствующей скорости. Полученный при этом спектр резонансного поглощения (рис. 2) позволит

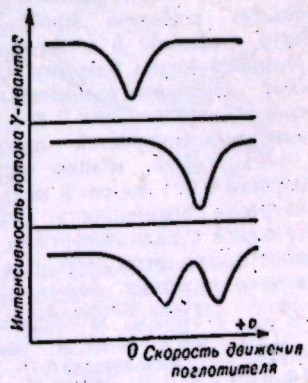


Рис. 2. Типичные формы спектров резонансного поглощения: наверху — в отсутствие сдвигов или расщеплений; в середине — при отличном от 0 изомерном химич. сдвиге между линиями испускания и поглощения; внизу — при расщеплении линии поглощения (или испускания) в результате сверхтонкого взаимодействия на 2 компоненты.

определить величину химич. сдвига и величину расщепления, т. е. получить важные сведения о свойствах среды, окружающей ядро в источнике или в поглотителе. Спектры поглощения позволили получить сведения о внутр. магнитных полях в ферромагнитных и антиферромагнитных материалах, исследовать ряд особенностей химич. связи в молекулах и кристаллах и др. В большинстве случаев эти сведения не могли быть получены др. методами.

М. э., как метод измерений, не имеющий себе равного по точности, должен найти разнообразные применения в технике, автоматике, химии и т. д., однако эти применения пока весьма ограничены. Очевидна возможность использования М. э. для химич. анализа. Форма спектров поглощения чрезвычайно чувствительна к особенностям химич. связи в молекулах, в частности к валентному состоянию мёссбауэровского атома. Это дает возможность сравнительно быстро идентифицировать химич. изменения, происходящие в веществе источника (или поглотителя), что особенно существенно в тех случаях, когда применение др. методов затруднено (напр., при исследовании процессов в катализаторах). Сделаны первые шаги в направлении использования М. э. для геологоразведки. Уже имеются опытные установки, позволяющие быстро определять, напр., содержание касситерита SnO_2 в породе даже при его содержании, не превышающем 1%. При этом полностью отпадает необходимость в какой-либо предварительной химич. обработке руды перед ее анализом.

М. э. может найти применение для лабораторных и заводских исследований свойств ферромагнитных материалов и ферритов: он позволит быстро и объективно определять величины внутр. магнитных полей и их зависимости от состава материала, режима обработки и др. Можно надеяться также, что М. э. поможет решению проблемы определения внутр. дефектов в материалах в состоянии, предшествующем разрыву. Очевидна возможность измерения с помощью М. э. скорости относит. перемещения 2 тел, причем интервал измеримых скоростей лежит в пределах 0,01—1 *мм/сек*, можно надеяться измерять скорости 0,001 *мм/сек* и меньше. Чрезвычайно интересна возможность сочетания ядерного резонанса с радиочастотным или оптич. резонансом; при этом методика М. э. могла бы явиться чувствит. детектором частоты.

Лит.: Эффект Мёссбауэра. Сб. ст., [переводы], под ред. Ю. Кагана, М., 1962; Белозерский Г. Н., Немилов Ю. А., Резонансное рассеяние γ-лучей в кристаллах, «УФН», 1960, т. 72, вып. 3; Шпинель В. С., Эффект Мёссбауэра и его применение, «ИАН СССР. ОТН. Энергетика и автоматика», 1962, № 4, с. 71; Мёссбауэр Р. Л., в сб.: Наука и человечество, [М.], 1962, с. 331; Frauenfelder H., The Mössbauer effect, N. Y., 1962. *И. И. Делягин.*

МЕССДОЗА — см. *Динамометр.*

МЕТКИ ВРЕМЕНИ (oscillogram time-marks; repères de temps; Zeitmarken) — визуально наблюдаемые на осциллограмме яркостные или импульсные отметки, повторяющиеся через определенные интервалы времени; длительность или период повторения исследуемых процессов измеряется сравнением их с периодом следования меток времени. М. в. с различными временными масштабами создаются на экранах электронолучевых осциллографов с помощью *генератора меток*. При записи и рассмотрении сравнительно медленно протекающих процессов (сек. и доли сек.) на пленках шлейфовых осциллографов и лентах магнитной записи в качестве М. в. используются записанные на отдельной дорожке (или канале) той же пленки периодич. колебания известной частоты. Различные временные масштабы обычно создаются делением промышл. частоты 50 *гц*. Для создания М. в. (сек. и мин.) используются также контактные часы. *В. И. Шебаев.*

МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ (electric motor mechanical characteristics; caractéristiques mécaniques de moteurs électriques; mechanische Kennlinien von Elektromotoren) — зависимости установившейся скорости вращения двигателя от его вращающего момента. М. х. э. нал. естественной, когда параметры цепей двигателя и параметры его питания соответствуют их номинальным значениям.

МЕХАНИЧЕСКИЙ ИЗЛУЧАТЕЛЬ УЛЬТРАЗВУКА (звука) (mechanical ultrasonic emitter; emetteur mécanique d'ultra-sons; mechanischer Ultraschall-Strahler) — устройство для непосредственного преобразования механич. энергии в УЗ (звуковую). Наиболее распространены М. и. у., использующие энергию потока жидкости (*гидродинамический излучатель ультразвука*) или потока газа (*ультразвуковая сирена*). Однако в нек-рых случаях применяются и чисто механич. устройства; вследствие большой инерции механич. масс они имеют малые кпд при больших частотах и работают обычно в диапазонах инфразвуковых и низких звуковых частот. Для создания низкочастотных вибраций широко применяются эксцентриковые вибраторы, позволяющие получать амплитуды колебаний до

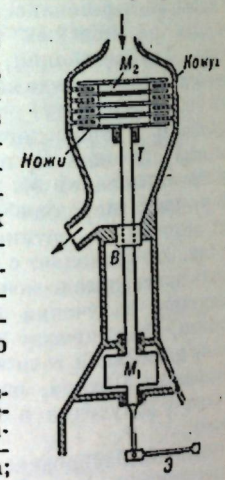


Схема установки для размола целлюлозы с применением крутильных механич. колебаний: M_1 — опорная цилиндрич. масса; M_2 — рабочая цилиндрич. масса с дисковыми ножами; T — соединительный стержень, работающий на кручение; B — опорный подшипник; $Э$ — эксцентриковая передача от электродвигателя.

4 *мм* в диапазоне частот 30—200 *гц*. Инфразвуковые вибрационные бурильные установки и глубинные насосы часто приводятся в действие неуравновешенными электродвигателями или укрепленными на колоннах турбинками, приводимыми в движение циркулирующим буровым раствором. Для устранения паразитных поперечных колебаний обычно ставят две коаксиальные неуравновешенные системы, вращающиеся в противоположные стороны. Крутильные колебания применяются для дезинтеграции, напр. для размола целлюлозы (рис.). Основная акустич. часть такой установки — крутильная колебат. система из двух цилиндрич. масс M_1 и M_2; угловые колебания массы M_1 достигают 2°; по окружности ее расположен ряд дисковых ножей, входящих в пазы таких же неподвижных ножей, прикрепленных к кожуху. Подлежащая размельчению масса подается в верхнюю часть установки под давлением и, пройдя сквозь зазоры между колеблющимися и неподвижными ножами, выходит в размельченном состоянии через нижнее отверстие. На частоте 200 *гц* относительное смещение подвижных и неподвижных ножей достигает 1 *см* (при радиусе ножевого диска 45 *см*), что соответствует колебательной скорости 5 *м/сек*. При длине стержня около 1 *м* добротность колебат. системы равна 30. Если расходовать на возбуждение системы 5 *квт*, то ее производительность оказывается равной 1—2 *л/сек*. Частота колебаний такой системы может быть повышена путем применения возбуждающего электродвигателя с большей скоростью вращения.

Лит.: Бергман Л., Ультразвук и его применение в науке и технике, пер. с нем., М., 1956; Гершгал Д. А. и Фридман В. М., Ультразвуковая аппаратура, М.—Л., 1961; Hueter Th. F., Bolt R. H., Sonics, N. Y.—L., [1955]. *Л. Д. Розенберг.*

МЕХАНИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ МОЩНОСТИ (mechanical power amplifier; amplificateur mécanique de puissance; mechanischer Leistungs Verstärker) — устройство для преобразования механического перемещения (входного сигнала) в механическое перемещение большей мощности за счет использования механич. энергии, получаемой от внешнего источника. Входным и выходным сигналами усилителя в механич. цепях управления являются механич. перемещения. Применение М. у. м. дает возможность избежать двукратного преобразования энергии на входе и выходе усилителя, к-рое оказывается необходимым при электронном, электрич., гидравлич. и пневматич. усилениях. Кроме того, М. у. м. дают возможность не нарушать жесткую кинематич. связь между входным и выходным звеньями усилителя и тем самым избежать динамич. ошибок и усложнения системы, связанного с введением дополнит. цепей обратной связи.

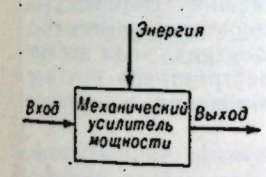


Рис. 1.

М. у.м. работает по принцип. схеме рис. 1. В М. у. м., разработанном Ниманом (рис. 2), входное *1* и выходное *2* звенья М. у. м. связаны гибкими лентами *3*, обвивающими два барабана *4*. Барабаны приводятся в движение от перегулируемого источника энергии *5* и вращаются в противоположные стороны. Длины лент выбраны так, чтобы при неподвижном входном звене зазор между ними и барабанами имел миним. величину, обеспечивающую свободное проскальзывание. При повороте входного звена *1* в ту или иную сторону соответствующая лента затягивается; между нею и барабаном возникает сила трения, приводящая в движение выходное звено усилителя, и энергия от нерегулируемого источника *5* передается на выходное звено устройства, усиливая мощность управляющего сигнала. Динамич. анализ показывает, что в результате натяжения и ослабления гибких связей работа такого М. у.м. имеет автоколебат. характер, что заставляет пользоваться демпфирующими устройствами.

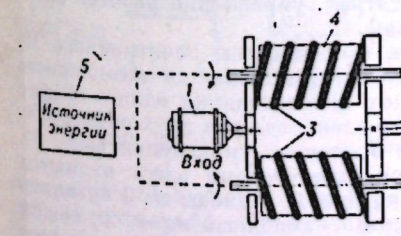


Рис. 2.

В М. у. м. (рис. 3), применяемом в измерит. приборах, резиновый валик *1* вращается от перегулируемого источника энергии. Кольцо *3* посредством пружины (не показанной на схеме) зажато между валиками *1* и *2* и силами трения приводится во вращение. Управляющий сигнал через рукоятку *5* (входное звено М. у. м.) воздействует на кольцо *3*, перекашивая его по отношению к валикам. В результате кольцо начинает перемещаться вдоль образующей валиков, увлекая за собой через толкатель каретку *4* — выходное звено М. у. м. Кольцо и каретка движутся в продольном направлении до тех пор, пока движется входное звено. Когда рукоятка *5* останавливается, кольцо, упираясь в вилку рукоятки, выравнивается, устанавливаясь в плоскости, перпендикулярной к оси роликов. Т. о., величина перемещения выходного звена (каретки) задается перемещением управляющей рукоятки. Несмотря на наличие механич. связи между ведущим и ведомым звеньями этого М. у. м., ему свойственны динамич. ошибки рассогласования.

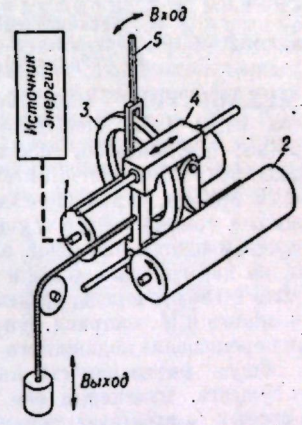


Рис. 3.

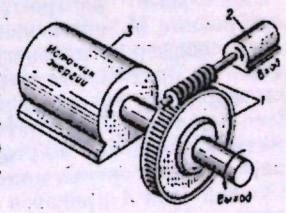


Рис. 4.

М. у. м. (рис. 4) основан на явлении самоторможения, свойственном нек-рым механич. передачам. В самотормозящей червячной передаче *1* при неподвижном вале серводвигателя *2* вал колеса остается неподвижным вследствие самоторможения независимо от величины вращающего момента. Если же ротор серводвигателя вращается, реализуя управляющий сигнал, то червяк растормаживает сцепленное с ним колесо, к-рое передает движение на выходное звено усилителя. В этом М. у. м. серводвигатель служит лишь ключом для потока энергии, за счет чего и осуществляется усиление. Пост. кинематич. связь между входным и выходным звеньями М. у. м. обеспечивает точную отработку угловых перемещений, задаваемых серводвигателем. М. у. м. такого типа не требует цепи обратной связи, отличается предельной простотой и высокими динамич. качествами.

Эффективность М. у. м. обычно оценивается коэфф. усиления мощности k, т. е. отношением мощности на выходном звене усилителя к мощности на его управляющем звене. Напр., для М. у. м. по рис. 2 $k=e^{fl}$, где f — коэфф. трения между лентой и барабаном; l — угол охвата барабана лентами. Для М. у.м. по рис. 4 $k=tg\alpha/tg(\varrho-\alpha)$, где α — угол подъема винтовой линии самотормозящейся передачи; ϱ — приведенный угол трения самотормозящейся передачи.

Лит.: «Amer. Machinist», 1927, v. 66, № 21, p. 895; «Electr. Manufact.», 1959, Sept., p. 186; Кобринский А. Е., Корендясев А. И., Левковский Е. И., Механический усилитель мощности, «ВАН СССР», 1962, № 5, с. 83.

А. Е. Кобринский, А. И. Корендясев, Е. И. Левковский.

МЕХАНОТРОН (movable-electrode electron tube; tube électronique à électrodes mobiles; Mechanotron, mechanisch gesteuerte Elektronen oder Ionenröhre) — электровакуумный прибор, управление электронными или ионными токами к-рого осуществляется перемещением одного или неск. электродов. М. делят на две группы: электронные М., к-рые, в свою очередь, разделяются на М. интенсивного и М. направл. управления. В первых перемещение подвижного электрода меняет общую интенсивность потока электронов без существ. изменения его направленности; во вторых — вызывает перераспределение направл. пучков электронов, т. е. эти приборы представляют собой механически управляемые электроннолучевые коммутаторы; и о н н ы е М. — механически управляемые газоразрядные приборы, к-рые по режиму происходящего в них разряда подразделяются на М. непрерывного и М. импульсного разряда. В первых изменения геометрии системы электродов приводят к изменениям тока разряда. Ионные М. различаются и по виду происходящего в них разряда: самостоятельного и несамостоятельного.

Наибольшее распространение получили электронные М. интенсивного управления, в первую очередь продольного и зондового управления. М. продольного управления есть диод, состоящий из подогревного катода и анода. Используется, напр., в датчике индицирования динамич. давлений внутри цилиндра двигателей внутр. сгорания и компрессоров (рис. 1). Плоский анод A приварен к торцу стержня C, запаянного в упругую мембрану M, образующую эластичную стенку вакуумного баллона. K — плоский подогревный катод. Направления перемещений подвижного анода показаны, как и на других рис., двусторонней стрелкой.

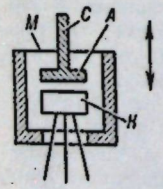


Рис. 1.

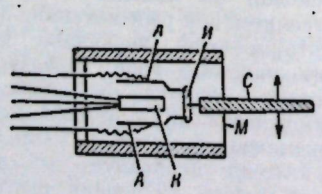


Рис. 2.

Преимущества балансных схем привели к появлению сдвоенных симметричных М. продольного управления (рис. 2). Здесь неподвижным электродом лампы является плоский подогревный катод K. По обе стороны от него расположены плоские аноды A, укрепленные в изоляторе $И$, находящемся на внутреннем конце подвижного стержня C, впаянного в эластичную мембрану M. Эти М. обладают высокой чувствительностью по току и относительно небольшими значениями внутр. сопротивления. Поэтому они используются для работы на нагрузки сравнительно малого внутр. сопротивления.

Значительно большее внутр. сопротивление и повышенную чувствительность по напряжению имеют электронные триоды продольного управления (рис. 3). Неподвижными электродами являются накаленный катод K и сетка C.

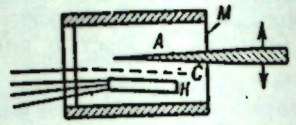


Рис. 3.

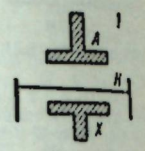


Рис. 4.

Подвижным электродом — анод A, укрепленный на подвижном стержне, впаянном в эластичную мембрану M. Неподвижная сетка этого М. может быть использована для электрич. управления анодным током, к-рое иногда целесообразно сочетать с мех. управлением.

Электронный М. зондового управления основан на перемещении тонкого накаленного катода (прямого накала) K относительно электрич. поля, создаваемого неподвижными электродами — анодом A и холодным катодом X (рис. 4). Такие М. отличаются большими внутр. сопротивлениями и повышенной чувствительностью по напряжению. Возможна замена перемещения накаленного управляющего катода относительно электрич. поля перемещением последнего. Конструктивно это осуществляется при использовании в качестве подвижного управляющего электрода подвижного холодного катода X, а в качестве неподвижных электродов лампы — катода K и анода A. Холодный управляющий электрод М. может быть использован как для мех., так и для электрич. управления работой электронной лампы.

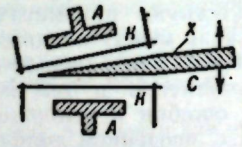


Рис. 5.

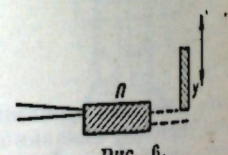


Рис. 6.

Интересной особенностью электронного М. зондового управления является возможность одновременного использования одного общего управляющего электрода для двух симметричных триодов зондового управления (рис. 5). Неподвижными электродами здесь являются накаленные катоды K и аноды A. Управляющим электродом — холодный катод X, общий для обеих половин сдвоенного триода; этот электрод укреплен на подвижном стержне C, запаянном в эластичную мембрану X. Такие симметричные двусторонние М. предназначены для включения на вход симметричных измерит. или усилит. схем. Диоды, имеющие относительно малые внутр. сопротивления, могут работать непосредственно на магнитоэлектрич. измерит. прибор или реле, тогда как триоды предназначены для работы на электронный усилитель или преобразователь.

Электроннолучевой М. с пересекаемым пучком электронов (рис. 6) имеет подвижный электрод $У$, перемещающийся в направлениях, показанных двусторонней стрелкой, и пересекающий пучок электронов, генерируемый электронным прожектором $П$.

В электроннолучевом М. с отклоняемым пучком электронов (рис. 7), испускаемых прожектором $П$, при помощи механически управляемой системы $О$ происходит перераспределение пучка электронов между ламелями $Л$ в соответствии с перемещением подвижного управляющего электрода.

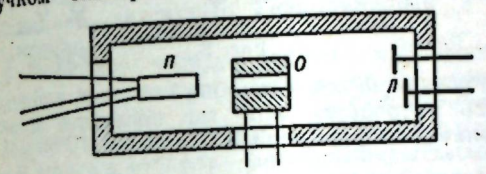


Рис. 7.

Основные применения: ионные М. распространены значительно меньше, чем электронные. Высокая чувствительность электронных М. к перемещениям подвижного управляющего электрода делает их высокоэффективными механоэлектрич. преобразователями для датчиков различных мех. величин. Так, напр., высокочувствит. электронный микрометр, работающий на пост. токе, позволяет измерять линейные размеры до 10^{-6} *см*, не прибегая к усилению сигналов, пользуясь для отсчета показаний обычным магнитоэлектрич. стрелочным гальванометром или шлейфом стандартного осциллографа. Контролируемые деформации в схеме этого микрометра (рис. 8) передаются на внешний конец стержня C механотрона M. Для автоматич. регистраций измерений используется шлейф магнитоэлектрич. осциллографа. Применение таких регистраторов деформаций оказывается целесообразным для дилатометров, измерителей крипа, сейсмодатчиков, регистраторов микрогеометрии поверхностей и т. д. Электронные М. используются также в датчиках давлений и вакуума. В схеме механотронного манометрич. датчика (рис. 9) мембранная коробка K, связанная с объемом, в к-ром контролируется давление, сочленяется кинематически (при помощи пружинно-рычажного сочленения) с внешним концом подвижного стержня C механотрона M. На рис. 10 приведена аналогичная схема датчика разности давлений по обе стороны мембраны O, кинематически сочлененной с внешним концом подвижного стержня механотрона M. На рис. 11 дается схема датчика вакуумметра, чувствит. элементом к-рого является полая мембранная коробочка, соединенная с вакуумным объемом. Верхняя незакрепленная часть мембранной коробочки сочленяется с внешним подвижным концом стержня M, выполняющего ф-ции механоэлектрич. преобразователя.

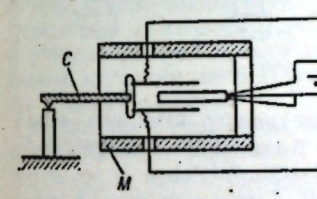


Рис. 8.

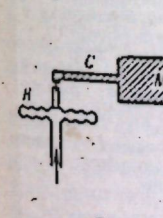


Рис. 9.

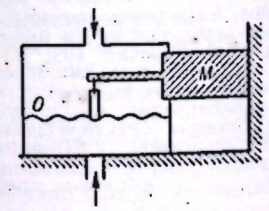


Рис. 10.

Хорошие результаты дают механотронные датчики при измерениях деформаций деталей машин. Подобные устройства могут быть использованы для простейшей автоматики, блокирующей контролируемую машину в случае ее перегрузки. Преимуществом подобного устройства является то, что M. с повышенной чувствительностью по току может работать непосредственно с магнитоэлектрич. реле без усиления сигналов, генерируемых механотронным датчиком. Примером такой автоматики является установка механотрона на креплении шлифовального круга с целью осуществлять автоматич. регулирование скорости подачи для обеспечения оптимальных условий шлифовки. Благодаря малому мертвому усилию механотронный датчик линейных размеров можно применять и для целей активного контроля размеров при обработке на станках.

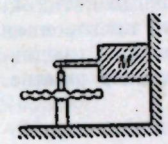


Рис. 11.

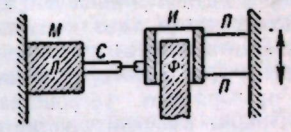


Рис. 12.

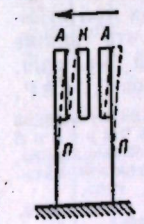


Рис. 13.

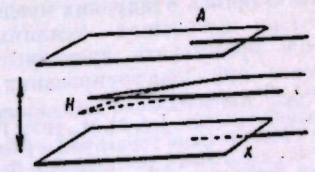


Рис. 14.

Механотронные датчики ускорений оформляются в неск. вариантах, отличающихся способом расположения инертной массы датчика (вне или внутри М.):

а) Инертная масса датчика ускорений укреплена при помощи пружин $И$ к корпусу датчика (рис. 12). При ускоренном движении этого датчика вместе с контролируемым телом $Ф$ под действием инерционной силы инертная масса $И$ смещается относительно корпуса датчика. Смещение инертной массы, сочлененной с внешним концом подвижного стержня механотрона M, сопровождается соответствующим изменением анодного тока лампы, пропорциональным контролируемому ускорению.

б) Инертная масса датчика ускорений размещена внутри баллона механотрона (рис. 13). Здесь осуществляется схема симметричного

сдвоенного диода продольного управления, в к-ром по обе стороны плоского подогревного катода K размещены аноды A, укрепленные на пружинах II, позволяющих инертным массам смещаться относительно катода под действием силы инерции. Примерное смещение подвижных анодов лампы под действием силы, возникающей при ускоренном движении датчика в направлении, показанном стрелкой, изображено пунктиром. Эта лампа используется для регистрации ускорений при помощи шлейфного осциллографа (без применения усиления сигналов, генерируемых датчиком). На рис. 14 дана схема др. электронного датчика ускорений с внутренней инертной массой, представляющего собой триод зондового управления с подвижным прямоканальным катодом V-образной формы. Деформация катода K лампы при ускоренном движении в направлении, показанном стрелкой, изображена пунктиром. Неподвижными электродами лампы являются анод A и холодный катод X. Датчик этого типа отличается повышенной чувствительностью по напряжению и предназначен для работы на электронные усилит. и преобразоват. устройства.

Помимо высокой чувствительности, механотронные датчики отличаются еще одним интересным свойством, присущим только этим датчикам, — они являются механически управляемыми сопротивлениями односторонней проводимости. Это свойство позволяет разрабатывать ряд весьма интересных разновидностей контрольно-измерит. и автоматич. аппаратуры, открывающих новые возможности решения нек-рых научных и практич. задач. Действительно, питая датчики от источника перем. напряжения стабильной частоты, получают возможность снимать с датчика перем. ток этой частоты, модулированный сигналом, соответствующим изучаемому процессу.

М. является также механически регулируемым сопротивлением бесконтактного типа, изменяющимся в широких пределах при относительно небольших усилиях, что также может представить существенный практич. интерес при конструировании новых САР.

Лит.: Автоматизация технологических процессов в машиностроении, [сб. 2], М., 1955; Гончарский Л. А., Механически управляемые электронные лампы, М.—Л., 1957; Приборостроение и средства автоматизации контроля, [сб. ст.], кн. 2, М., 1960.

Л. А. Гончарский.

МИКРОВЫКЛЮЧАТЕЛЬ, микропереключатель (microswitch; microrupteur; Miniaturschalter, Miniatur-Ausschalter), — малогабаритный переключатель мгновенного действия, коммутирующий электрич. цепи при приложении определ. усилия к его приводному элементу. Скорость срабатывания М. практически не зависит от скорости перемещения приводного элемента. М. применяются в качестве концевых, командных и блокировочных элементов в конструкциях,

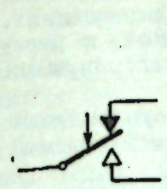


Рис. 1.

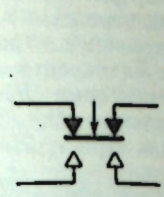


Рис. 2.

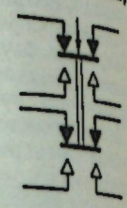


Рис. 3.

где возможно медленное перемещение толкающего устройства или где последнее имеет незначит. перемещение.

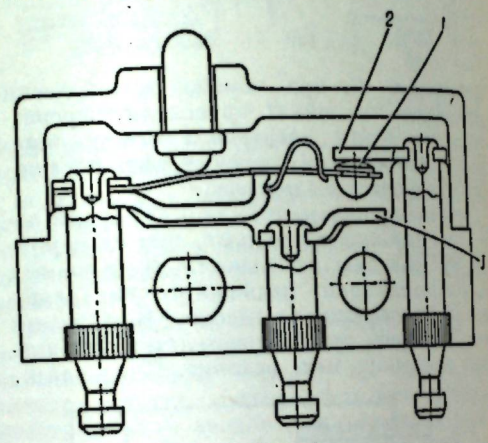


Рис. 4.

В зависимости от конструктивного исполнения, назначения и электрич. параметров М. делятся на 5 типов (см. табл.).

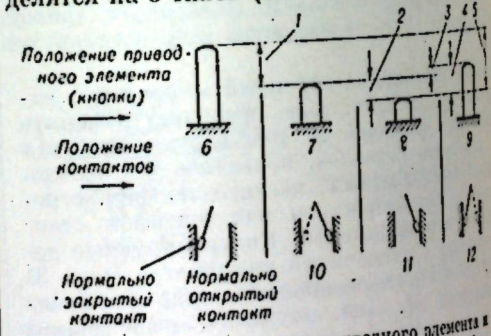


Рис. 5. Схема положений приводного элемента и соответствующих им положений контактов: *1* — прямой рабочий ход; *2* — дополнит. ход; *3* — дифференц. ход; *4* — обратный ход; *5* — полный ход; *6* — нач. положение; *7* — положение прямого срабатывания; *8* — конечное положение; *9* — положение обратного срабатывания; *10* — прямое срабатывание; *11* — положение контакта при конечном положении приводного элемента; *12* — обратное срабатывание.

Тип	Род коммутируемого тока				Ориентировочные габариты	Число переключений	Частота переключений в мин.
	постоянный		переменный				
	напряжение (в)	ток (а)	напряжение (в)	ток (а)			
1	15—30	0,2—15	15—220	0,2—8	50×18×32	10000	6
2	15—30	0,2— 8	15—220	0,05—2	35×10×16	10000	6
3	15—30	0,05—8	15—220	0,05—8	40×13×13	10000—30000	12
4	15—30	0,05—4	250	3	20×7×15	200000—50000	20
5	0,5—30	0,000001—0,5	—	—	12×5×9	10000	6

По схемам коммутации М. делятся на три типа: 1) однополюсного переключения с одинарным разрывом цепи (типы 1, 2, 4 и 5) (рис. 1); 2) однополюсного переключения с двойным разрывом цепи (тип 3) (рис. 2); 3) двухполюсного переключения с двойным разрывом цепи (рис. 3).

На рис. 4 представлена конструкция однополюсного М. типов 4 и 5. Он имеет три контакта: подвижный *1*, неподвижный *2* — нормально закрытый, неподвижный *3* — нормально открытый.

Взаимосвязь между ходами приводного элемента и положением контактов М. поясняется рис. 5.

С. Ф. Соловьева.

МИКРОМИНИАТЮРИЗАЦИЯ электронной аппаратуры (microminiaturization; microminiaturisation; Mikrominiaturisierung) — направление технич. прогресса, преследующее цель уменьшения габаритов, весов и потребления энергии при одновременном повышении надежности аппаратуры и облегчении автоматизации ее производства. Необходимость М. вызвана тем, что усложнение аппаратуры растет быстрее, чем объем и вес, отводимые для нее. М. осуществляется путем: уменьшения объема частей конструкции, непосредственно не участвующих в процессе; сокращения размеров деталей; повышения плотности их упаковки; уменьшения числа и размеров межузельных соединений; применения новых конструктивно-технологич. решений, к-рые уменьшают количество деталей и заменяют крупногабаритные детали и узлы новыми деталями и узлами иной конструкции, имеющими меньшие размеры.

М. связана с освоением новых материалов: спец. сталей и керамики, ферроэлектриков, III и др. и новых профилей (микропроволока, тонкие пленки и др.). В связи с М. совершенствуется существующая и разрабатывается новая технология: вакуумное распыление, диффузия, электрохим. методы, гравирование и др. Повышенные требования предъявляются к точности изготовления аппаратуры (ввиду малых размеров изделий), к производств. помещениям, в частности к чистоте в них. Компактность микроминиатюрных изделий приводит к тому, что разнообразные процессы, происходящие в них, оказываются взаимосвязанными. М. изделий достигается комплексным применением всех методов сокращения размеров. Эти обстоятельства приводят к необходимости совместной работы механиков, физиков, химиков и др. специалистов.

М. аппаратуры ведет к снижению затрат сырья и материалов при ее производстве. Уменьшение объема и веса изделий приводит к повышению уд. мощности в объеме, сокращению потребления энергии. Обычно при М. повышается надежность изделия. Малогабаритные конструкции лучше противостоят ударной и вибрационной нагрузкам, т. к. создаваемые ускорениями силы пропорциональны массе и, следовательно, кубу линейных размеров; силы же внутреннего напряжения пропорциональны поперечному сечению, т. е. квадрату линейных размеров. Поэтому малогабаритные приборы могут устанавливаться там, где приборы бо́льших размеров и весов не могли бы работать. С др. стороны, они создают возможность при равном объеме, отводимом на аппаратуру, устанавливать аппаратуру большей мощности и эффективности.

М. начинает играть существенную роль в приборостроении и электротехнике, но в наибольшей степени тенденция к М. проявляется в радиоэлектронике. Необходимость М. здесь вызвана расширением круга функций, выполняемых электронным оборудованием, к-рое наиболее пригодно для автоматизации производственных процессов. М. потребовала интенсивных поисков новых принципов, обеспечивающих резкое уменьшение габаритов аппаратуры и позволяющих создавать схемы, способные работать при значительно более низких уровнях сигналов. Разработчиками аппаратуры и комплектующих изделий были проделаны исследования, охватывающие большое количество различных физич. явлений, связанных с электрич., электромагнитными, магнитными, световыми, механич. и тепловыми процессами. Достигнутые успехи привели к созданию нового направления в электронике — микроэлектроники. Большое внимание уделяется изучению биологич. процессов с целью использования их принципиальных особенностей для решения задач М. и усовершенствования электронных систем (см. *Бионика*).

М. развивается по след. основным направлениям: микромодульное конструирование, пленочные микросхемы, *твердые схемы* и молекулярная электроника. При сравнении плотностей монтажа (числа элементов на единицу объема) обычно предполагают, что каждый элемент занимает объем, ограниченный кубом, и не учитывают выводы, контакты и т. п. (рис. 1).

Главной проблемой на пути дальнейшей М. является уменьшение мощности рассеяния для снижения количества выделяемого тепла.

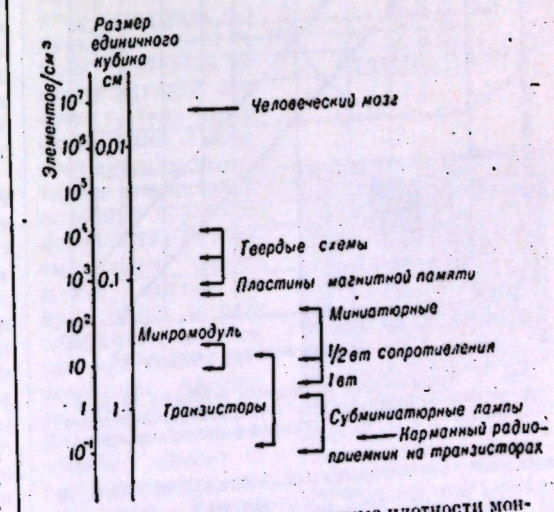


Рис. 1. Достигнутые и ожидаемые плотности монтажа и размеры отдельных элементов для различных методов микроминиатюризации.

Плотность монтажа тесно связана с мощностью рассеяния. Считая каждый элемент источником тепла сферич. формы с радиусом r, значительно меньшим радиуса всего объема R, и решая ур-ние теплопередачи, получим темп-ру перепада ΔT между са́мой нагретой точкой и поверхностью объема. Для случая установившегося режима и бесконечно большой теплопроводности окружающей среды

$$\Delta T = \frac{q}{8\pi kR}\left(n + \sqrt[3]{n}, a\right), \qquad (1)$$

где n — число элементов схемы в объеме, q— количество тепла на элемент, k — теплопроводность материала, $a=nr^3/R^3$ — коэфф. использования объема. Для случая передачи тепла с поверхности объема за счет естественной конвекции воздуха количество тепла на единицу площади поверхности q' определится выражением:

$$q'=h_k(T_{пов}-T_{окр}), \qquad (2)$$

где $T_{пов}$—темп-ра поверхности, $T_{окр}$— темп-ра окружающей среды, h_k — коэфф. естественной конвекции. Как видно из рис. 2, допустимая плотность монтажа для типовой электронной схемы, состоящей из 20 элементов, при мощности рассеивания 100 *мвт* (5 *мвт* на элемент) и допустимом перегреве 20°С составит 4 *элемента/см*^{3}. При снижении мощности рассеяния до 1 *мвт* допустимая плотность монтажа возрастет до 500 *элементов/см*^{3}. Достижение подобных плотностей монтажа требует значит. прогресса в производстве активных и пассивных элементов.

Необходимы активные элементы, способные работать при очень низких уровнях мощности (с большим коэфф. усиления по току и малым уровнем шумов), с малым входным сопротивлением, малыми реактивностями и малой температурной зависимостью параметров. Начинают появляться приборы, обладающие указанными свойствами, напр. туннельные диоды. Большого прогресса в микроэлектро-

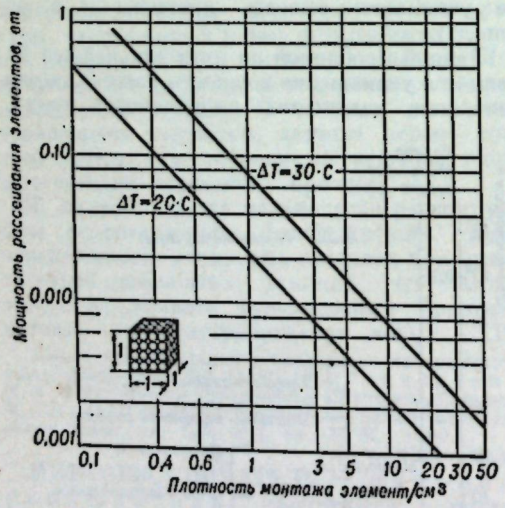


Рис. 2. Зависимости плотности монтажа от мощности рассеивания для 1 $см^3$ германия, вычисленные по ф-лам (1) и (2) при заданной темп-ре перегрева.

нике следует ожидать после отказа от традиционного раздельного изготовления элементов и М. существующих систем и перехода на создание комплексных микроминиатюрных систем.

1) При микромодульном конструировании аппаратуры основным элементом аппаратуры является микромодуль, представляющий собой залитую наборную конструкцию из керамич. микропластин с нанесенными на них одной или неск. деталями-микроэлементами (рис. 3). Микроэлементы соединяются между собой соединит. проводниками при помощи пайки или сварки. Характерной особенностью микромодуля является потеря отд. деталями для потребителя своего значения как единицы продукции.

Для изготовления резистивных и емкостных микроэлементов применяют методы вакуумного напыления, сплавления и др. Индуктивности и полупроводниковые приборы вклеиваются в керамические пластины. Для более полного использования объема в ряде случаев на одном микроэлементе располагают неск. (до 6—8) деталей (диодов, сопротивлений и т. п.). Плотность монтажа микромодулей при установке одной детали на микроэлементе — ок. 8 деталей на 1 $см^3$. Перевод аппаратуры, выполненной на транзисторах с печатным монтажом, на

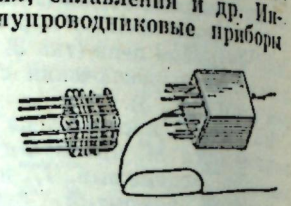


Рис. 3. Микромодуль.

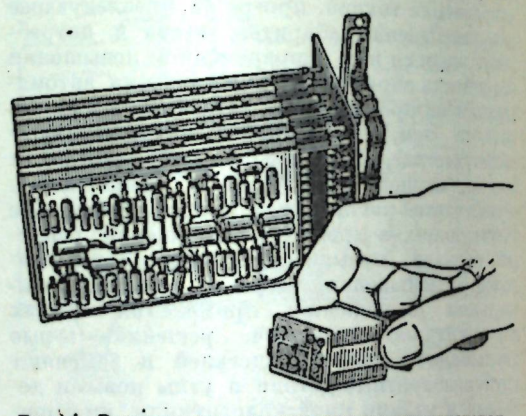


Рис. 4. Электронная аппаратура на транзисторах с печатным монтажом и на микромодулях.

микромодульную конструкцию позволяет получить примерно десятикратное уменьшение объема (рис. 4). Предел уменьшения габаритов микромодулей и построенной на них аппаратуры определяется габаритами микроэлементов, возможностями теплоотвода и соединения микромодулей между собой.

2) Пленочные микросхемы в большей степени, чем микромодули, представляют собой законченные электронные схемы, состоящие из пленочных деталей, наносимых на одну общую для всей схемы изоляционную подложку. Разработаны след. разновидности тонких пленок: изолирующие, проводящие, сверхпроводящие, магнитные и полупроводниковые. Для изготовления микросхем широко применяется химич. осаждение, вакуумное напыление металлов и их окислов, фотолитографич. травление и др., обеспечивающие хорошую контролируемость технологич. процессов изготовления элементов микросхем. За счет рациональной конфигурации элементов и их компактного размещения количество соединительных проводников в микросхеме сводится к минимуму. Пленочные микросхемы являются дальнейшим развитием микромодульного конструирования и позволяют получить бо́льшую плотность монтажа (рис. 5). Внедрение микросхем в практику требует нового оборудования и освоения тонких технологич. процессов. Пленочные микросхемы имеют плотность монтажа до 60 деталей на 1 $см^3$. Ведутся работы по доведению плотности монтажа до 600 деталей на 1 $см^3$ за счет создания многослойных пленочных структур.

Серьезным препятствием к достижению плотности монтажа до 600 деталей на 1 $см^3$ является отсутствие разработанных схем, позволяю-

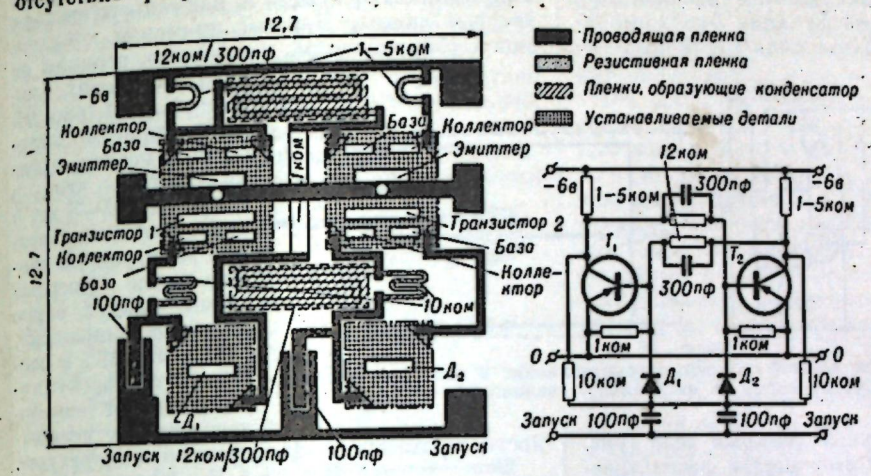


Рис. 5. Пленочная микросхема двоичного счетчика.

щих работать при мощностях рассеивания, не вызывающих недопустимого повышения ра-

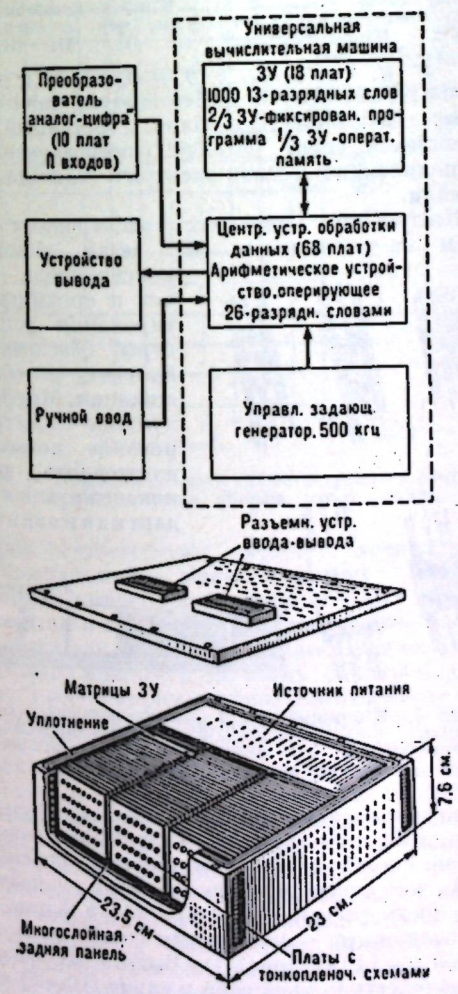
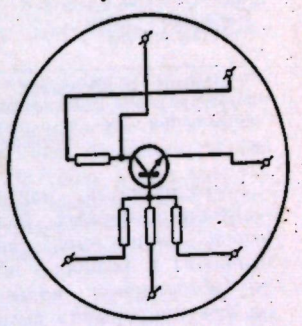


Рис. 6. Блок-схема и общий вид ЦВМ на пленочных микросхемах.

бочей темп-ры. Это препятствие преодолевают, создавая пленочные детали, работающие при более высоких темп-рах, и разрабатывая новые принципы построения схем, работающих при меньших уровнях сигналов. Одним из последних достижений в области микропленочной электроники является разработанная фирмой ИБМ (США) универс. ЦВМ (рис. 6). В состав вычислительной машины входит 100 сменных пластин, выполненных в виде пленочных схем на подложках размером 48×63 *мм*. На каждой пластине размещаются 32 элементарные схемы.

3) Твердые схемы — электронные узлы, получаемые путем создания в полупроводниковой пластине участков, к-рые по своим свойствам эквивалентны пассивным или активным элементам, а в совокупности выполняют функции, аналогичные электронным схемам. В качестве сопротивлений в твердых схемах используются объемные сопротивления отд. участков полупроводникового материала. Активные элементы схемы (полупроводниковые приборы) формируются из p—n- и n—p-переходов, создаваемых при помощи диффузии соответствующей примеси в тело полупроводника; в качестве емкости можно также использовать подобные переходы, подавая на них пост. смещающее напряжение, однако их применение в ряде случаев ограничено, так как такие конденсаторы являются поляризованными и их емкость нелинейно зависит от приложенного напряжения. Другой тип емкости создается путем нанесения на поверхность полупроводника в качестве диэлектрика окислов с последующим напылением на них металлической пленки. Разработанные твердые схемы делятся на 2 группы: а) интегральные, отдельные участки которых эквивалентны обычным радиодеталям; б) функциональные, в которых трудно выделить отдельные участки схем, равноценные обычным радиодеталям. Сопоставление таких схем с обычными возможно только путем сравнения их с помощью эквивалентных схем, составленных по выполняемым ими функ-



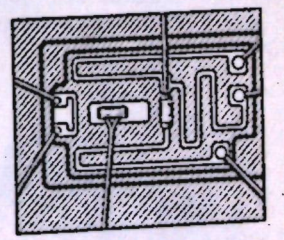


Рис. 7. Схема логич. элемента NOR и ее выполнение в виде интегральной твердой схемы: в центре — прямоугольный эмиттер, справа — 3 входных сопротивления в виде 3 змеевидных участков.

циям. Функциональные твердые схемы являются первым шагом в области молекулярной электроники. Молекулярная электроника в перспективе должна достичь уровня, при котором отд. схемные функции будут выполняться за счет использования различных явлений в отд. молекулах твердого тела (рис. 7 и 8). Сравнение возможностей рассмотренных направлений М. дано в таблице.

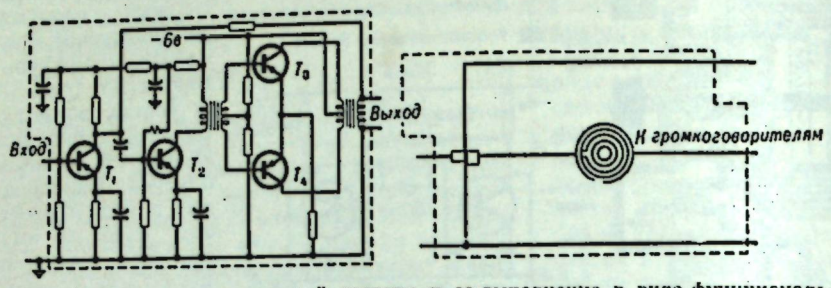


Рис. 8. Схема усилителя низкой частоты и ее выполнение в виде функциональной твердой схемы (в натуральную величину).

Возможные плотности монтажа деталей в единице объема

Вид схемы	Число деталей в 1 см³
Схемы с объемным монтажом	0,1—1
Микромодули	5—15
Пленочные схемы	50—200
Твердые схемы	100—2000

Данные 3 последних строчек относятся к конструктивно законченным узлам без учета соединения их в единое радиоэлектронное устройство.

Рассмотренные направления разработки микроминиатюрных радиоэлектронных приборов, помимо снижения габаритов и весов, приводят к решению жизненно важной задачи обеспечения надежной работы прибора при непрерывно возрастающем количестве составляющих его деталей и при увеличении времени его непрерывной работы. Применение типовых узлов при конструировании радиоэлектронного устройства позволяет повысить его надежность, т. к. типовой узел может быть более тщательно отработан и проверен. Переход от изготовления отдельной детали к изготовлению целой схемы, возможность автоматизации производства, внедрения автоматич. контроля технологич. процессов также способствуют повышению надежности устройств. М. открывает широкий путь к увеличению надежности радиоэлектронной аппаратуры за счет введения в схемы поэлементного резервирования и избыточности.

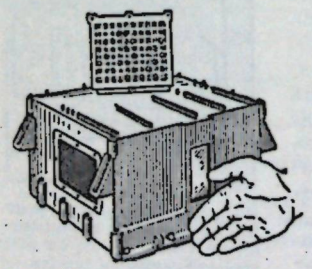


Рис. 9. ЦВМ на функциональных твердых схемах и керамич. микроплатах: внизу — общий вид; сверху — отдельный узел схемы; узлы можно объединять наподобие микромодулей.

Успехи М. приводят электронику на порог полной технической революции. Наиболее подготовленным для промышл. внедрения является направление микромодульного конструирования. Наиболее полно вопросы микроминиатюризации и надежности решают твердые схемы. Первым примером комплексного оборудования, созданного целиком на твердых схемах, является ЦВМ (рис. 9).

По данным зарубежной печати, предполагается, что в ближайшие 5—8 лет в авиационном и ракетном электронном оборудовании твердые схемы найдут самое широкое применение. Внедрение М., в особенности молекулярной, откроет еще более широкие возможности применения электронной аппаратуры.

Лит.: Dombrowski E., Pieper H.-D., «Flugkörper», 1961, Jg. 3, H.2, S. 41—47; Miller B., Microelectronic research effort grows, «Aviat. Week and Space Techn.», 1961, v. 74, № 11, p. 239—45; Линдгрен (Lindgren N.), RMC ускоряют программу разработки микроэлектронных устройств, «Электроника», рус. пер., 1962, № 41; Hamlin W. O., Microelectronics, pt 1 — Semiconductor products, 1962, v. 5, № 11; Микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры, пер. с англ., Л., 1962; Miniaturization, ed. H. D. Gilbert, N. Y.—L., 1961.

Е. И. Гальперин, А. Э. Наджип, С. А. Орлов.

МИКРОМОДУЛЬ (micromodule; micro-module; Mikromodul) — блок, состоящий из комплекса спец. деталей (микроэлементов), выполняющий ф-цию электрич. каскада или ячейки.

Построение сложных электронных систем из отдельных М. резко упрощает конструкцию, расчет и сроки проектирования аппаратуры, обеспечивает простоту ее обслуживания. Микромодульное конструирование позволяет изготовлять высоконадежную и стандартизированную электронную аппаратуру и существенно уменьшать габариты и вес, сравнительно с аппаратурой, сконструированной обычным способом.

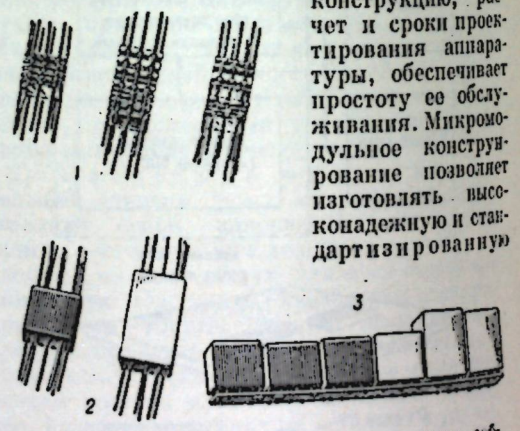


Рис. 1. Микромодули: *1* — микроэлементы, собранные в «этажерки»; *2* — герметизированные микромодули; *3* — блок аппаратуры из неск. микромодулей.

М., как правило, функционально законченная часть схемы. Изготовляется в форме параллелепипеда с квадратным сечением со стороной 9—11 *мм* (рис. 1). Высота М. зависит от количества элементов в схеме (10—20 *мм*). *Микроэлементы* в М. располагаются с определ. шагом и соединяются в «этажерку» 12 проводниками, запаянными в металлизированные пазы пластинок. Кроме того, соедин. провода служат для подвода питания и вывода сигналов от различных точек схемы. Нумерация выводов М. производится по часовой стрелке со стороны нижнего основания. Первый вывод отличается от др. окраской или длиной. При сборке М. микроэлементы могут быть расположены в нормальном или перевернутом положении относительно первого вывода на 90°, 180° и 270°. Размещение и соединение микроэлементов в М. показаны на примере каскада ждущего мультивибратора (рис. 2). Вертикальные линии чертежа

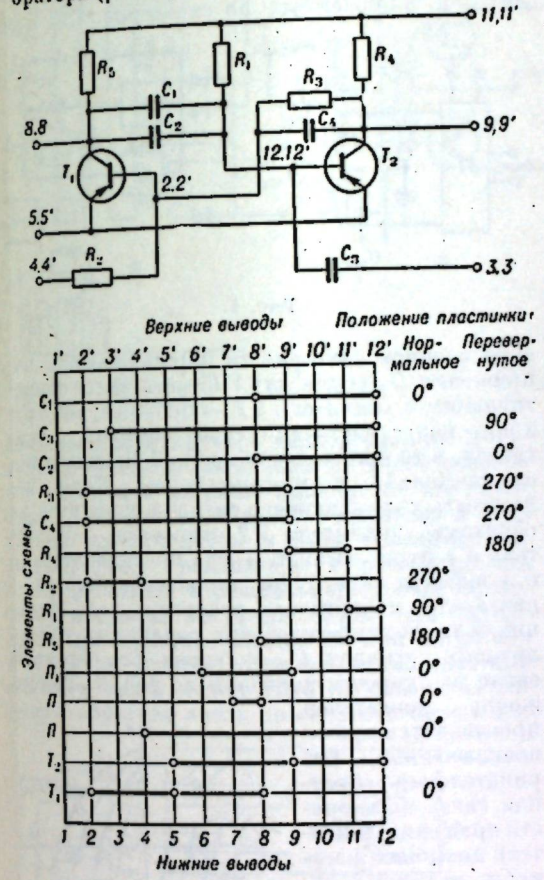


Рис. 2. Принципиальная схема ждущего мультивибратора и схема сборки микромодуля.

сборки соответствуют соединит. проводам, а горизонтальные — микроэлементам схемы; точки указывают места подключения микроэлементов к проводам. Микроэлементы располагаются так, чтобы достигалось равномерное выделение мощности по всему объему М. Собранные в «этажерку» микроэлементы после герметизации и представляют единый блок — М.

Способы герметизации М.: 1) опрессовка (применяется реже); 2) капсюлирование — «этажерки» помещаются в чехлы из термопластичного материала, торцы чехлов заливаются компаундами или завариваются; 3) заливка компаундами, изготовленными на основе низкомолекулярных эпоксидных смол с аминными отвердителями, с использованием пластификаторов и наполнителей (наиболее распространен). Для М. разработаны микроэлементы: сопротивления (от единиц *ом* до единиц *Мом*), конденсаторы (от единиц *мкмкф* до десятков *мкф*), катушки индуктивности (от долей единицы до десятков *мкгн*), низкочастотные, импульсные запоминающие и т. п. тр-ры, элементы подстройки и др.

Активные элементы М. — ПП приборы (и частично сверхминиатюрные лампы): транзисторы для усиления напряжения звуковых и промежуточных частот, переключающие и импульсные; диоды для выпрямления, детектирования, скоростного переключения, опорные, реактивные модуляторы и др.

ВЧ и НЧ разъемы, линии задержки, полосовые фильтры, переключатели, подстроечные конденсаторы, перем. сопротивления и т. п. не могут входить в состав М. Они изготовляются отдельно с размерами, аналогичными М. 70—80% всех электронных схем может быть выполнено в виде микромодулей (особенно в счетно-решающих устройствах). Выпускаются различные виды М., напр. усилители, генераторы колебаний и т. д.

К М. предъявляются требования: возможность работать в диапазоне темп-р от —60° до +85° (в перспективе до +200°), в условиях вибраций до 5000 *гц*, при ускорении до 20—40 *g* и ударных нагрузках до 15 000 *g* и т. д. В программе дальнейшей разработки М. и при конструировании аппаратуры с их использованием указывается достижение плотности монтажа до 21 000 *деталей/дм*³ и надежности, характеризующейся интенсивностью отказов $0{,}1 \cdot 10^{-6}$ 1/ч. Надежность микромодульной аппаратуры обеспечивается в основном высокой степенью защиты элементов от мех. и климатич. воздействий, а также высоким качеством изготовления, с применением механизации (автоматизации) как микроэлементов, так и М.

В практике *микроминиатюризации* аппаратуры параллельно развиваются три направления: микромодульное, микросхемное и молекулярное (*твердые схемы*). Наиболее полно разработано первое. Из табл. видно место и основные преимущества каждого из указанных направлений, сравнительно с обычными методами конструирования электронных устройств.

Метод конструирования	Число элементов в 1 $дм^3$	Ожидаемая интенсивность отказов $\times 10^{-6}$ 1/ч
С деталями выпуска до 1941	35	1,0
С миниатюрными деталями	175	0,5
Со сверхминиатюрными деталями	1750	0,1
Микромодульный	21000	0,01
Микросхемный	88000	0,01
С твердыми схемами	$(1{,}75—3{,}5) \cdot 10^6$	Пренебрежимо мала

Лит.: Микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры, пер. с англ., Л., 1962.

В. В. Мокряков.

МИКРОМОДУЛЬНОЕ ПОСТРОЕНИЕ ЦИФРОВЫХ МАШИН (micromodule digital computer construction; construction des calculateurs numériques par micro-modules; Konstruktion von Ziffernrechenmaschinen in Mikromodul-Bauweise) — один из конструктивных путей решения проблемы *микроминиатюризации*. Преследует цель создания высоконадежного стандартизированного радиоэлектронного оборудования малых габаритов и веса.

При М. п. ц. м. крупные и сложные узлы ЦВМ разбиваются на простые в функцион. отношении часто повторяющиеся типовые *микромо-*

дули (см. также *Блок стандартный*), размеры к-рых подчиняются принятой системе соразмерности. В логич. отношении микромодуль представляет наименьший самостоят. узел, выполняющий к.-л. ф-цию электронной схемы: триггер, усилитель, блокинг-генератор, полусумматор, сдвигатель и т. д. Подавляющая часть электронных схем ЦВМ (до 80%) позволяет осуществлять микромодульное конструирование. Размеры стандартной пластинки определяются заданной мощностью рассеяния микромодуля, макс. частотой работы, макс. рабочим напряжением. Электрич. соединение микроэлементов производится в соответствии с принцип. схемой узла ЦВМ вертикальными металлич. проводниками, к-рые служат также для теплоотвода.

Достоинства М. п. ц. м.: механизация и автоматизация произ-ва микроэлементов и микроузлов, удобство монтажа деталей и снижение его стоимости по сравнению с обычным монтажом, уменьшение размеров и увеличение надежности. Этот способ позволяет достигнуть плотности размещения порядка 10—20 деталей в 1 $см^3$ (при обычном монтаже 1 деталь в 1—2 $см^3$). М. п. ц. м. обеспечивает высокую надежность: частота отказов порядка 0,1% на 1000 ч. Микромодульная ЦВМ «Микро-ПАК» (1961, США) — последовательная, синхронная, работающая с тактовой частотой 1,5 *Мгц*, при длине слова 38 разрядов и емкости осн. ЗУ в 2048 чисел, весит вместе с упаковкой 45 *кг*, занимает объем около 0,07 $м^3$, потребляет 250 *вт*. Первая ЦВМ ЭНИАК (1948, США) имела 18 000 электронных ламп, весила 30 *т* и занимала площадь ок. 150 $м^2$.

Дальнейшим развитием микромодульного конструирования является применение микромодулей, состоящих из плоских микросхем — электронных схем, компоненты к-рых наносятся в виде тонких пленок (тысячные доли *мм*) на керамич. подложку. Плотность размещения деталей при этом может достигать 200—1300 деталей на 1 $см^3$. Перспективно выполнение микромодулей в виде твердых схем, основой к-рых являются ПП. Монолитные блоки ПП с помощью химич. процессов, диффузии и выпаривания металла и т. п. приобретают способность выполнять определ. ф-цию узла или схемы радиоэлектронной аппаратуры (усиление, переключение, выпрямление и т. д.). Интегр. твердые схемы при значит. сокращении размеров и веса существенно повышают надежность работы за счет отсутствия контактов. Плотность размещения может достигнуть 1000 деталей в 1 $см^3$.

Лит.: Евреинов Э. В., Косарев Ю. Г., О возможности построения вычислительных систем высокой производительности, Новосибирск, 1962; Miniaturization, ed. H. D. Gilbert, N. Y.—L., 1961; «IRE Trans. Prod. Engng and Production», 1961, v. PEP-5, № 2, p. 3—12.

Г. Б. Смирнов.

МИКРОПРИВОД ПЕРЕМЕННОГО ТОКА с двухфазным двигателем [A. C. (alternating current) microdrive; micro-commande à courant alternatif; Wechselstrom-Mikroantrieb]. Для управления двигателями используются магнитные и магнитно-полупроводниковые усилители, а в последнее время — кремниевые управляемые вентили. Скорость вращения двигателей регулируется изменением величины и симметрии напряжения, подведенного к зажимам статора (параметрич. управление), или изменением частоты (частотное управление). В схеме рис. 1, *а* для управления двухфазным двигателем используется двухтактный усилитель *У1*, на выходе к-рого включена обмотка управления двигателя *1*. Обмотка возбуждения двигателя *2* включается в сеть перем. тока через фазосдвигающий конденсатор. Изменение полярности управляющего сигнала $U_у$ приводит к изменению на 180° фазы напряжения перем. тока на выходе усилителя и к реверсированию двигателя. Возможно также реверсивное управление двухфазными двигателями с помощью двух однотактных усилителей, включенных по схеме рис. 1,*б*. При

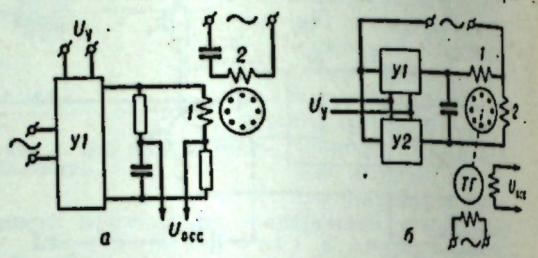


Рис. 1.

определенной полярности управляющего напряжения $U_у$ усилитель *У1* имеет малое сопротивление, а усилитель *У2* — большое; ток проходит непосредственно через обмотку *1* двигателя, в то время как обмотка *2* включена последовательно с конденсатором. Если полярность управляющего сигнала изменится на обратную, усилитель *У2* откроется, а усилитель *У1* будет закрыт. Тогда последовательно с конденсатором будет включена обмотка *1* двигателя, и двигатель реверсируется. Механич. хар-ки двигателей при различных управляющих сигналах $U_у$ в схемах без обратной связи по скорости показаны на рис. 2. Торможение двигателей производится противовключением. Отрицательная обратная связь по скорости вращения двигателя повышает жесткость механич. характеристик. Напряжение обратной связи перем. тока можно получить посредством мостовой схемы (рис. 1,*а*). Величина напряжения $U_{осс}$ на выходе этой схемы пропорциональна скорости вращения двигателя, а фаза изменяется на 180° при реверсировании двигателя. Напряжение $U_{осс}$ перем. или пост. тока может быть получено соответственно с помощью двухфазного тахогенератора перем. тока или тахогенератора пост. тока (рис. 1,*б*).

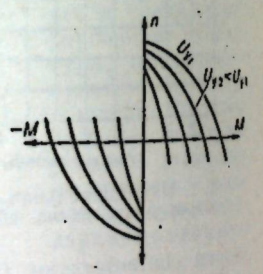


Рис. 2.

В схеме управления двухфазным двигателем с применением магнитно-полупроводниковых усилителей (рис. 3,*а*) с магнитного усилителя (МУ) с внутр. обратной связью через тр-р $Тр_1$ на базы транзисторов поступают управляющие импульсы, зависящие от мгновенного значения тока управления МУ. Магнитный усилитель питается от 2 маломощных преобразователей пост. тока в перем. Преобразователи дают прямоугольные импульсы напряжения U_0 частотой 4—5 *кгц*. Импульсы на выходе МУ получаются каждый полупериод напряжения несущей частоты. На вход

МУ подается управляющий сигнал перем. тока частотой 400—500 *гц*. В зависимости от полярности и мгновенного значения управляющего сигнала меняется ширина импульса, открывающего транзисторы, и ток, протекающий через первичную обмотку выходного тр-ра $Тр_2$ (рис. 3,*б*). Управляющая обмотка

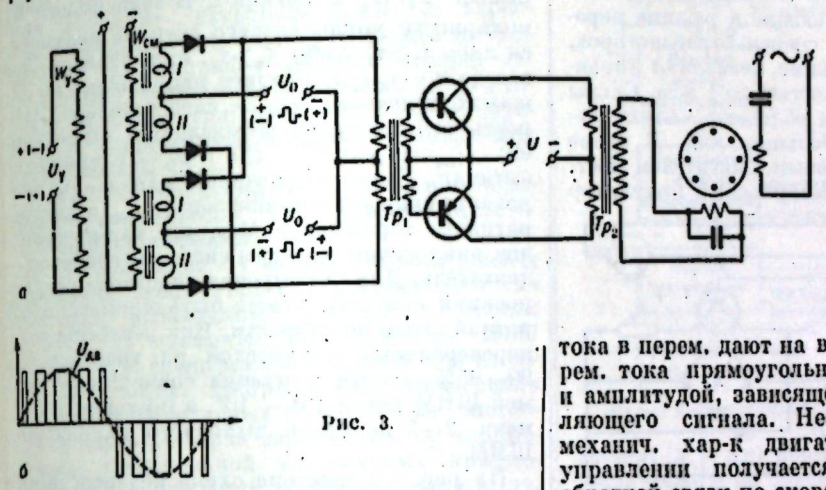


Рис. 3.

двигателя шунтируется конденсатором. В результате после сглаживания из серии импульсов различной ширины выделяется напряжение $U_{дв}$ частотой 400 *гц*. Его величина и фаза зависят от амплитуды и фазы управляющего сигнала МУ. Транзисторы в рассмотренной схеме работают в режиме переключения, поэтому мощность нагрузки, к-рой они управляют, значительно больше, чем при их работе в линейном режиме. Для получения жестких механич. хар-к может быть использована отрицат. обратная связь по скорости вращения.

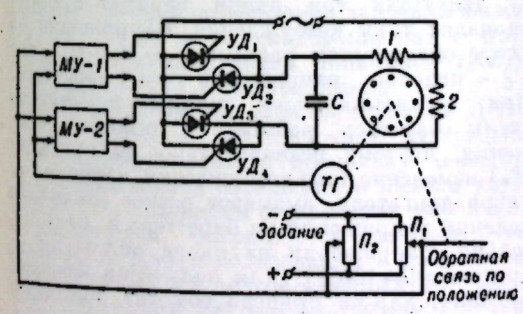


Рис. 4.

В одной из схем управления двухфазным двигателем следящей системы посредством кремниевых управляемых вентилей (рис. 4) применены два однотактных усилителя, построенных соответственно на управляемых вентилях $УД_1$, $УД_2$ и $УД_3$, $УД_4$. Сигнал пост. тока, пропорциональный отклонению выходной оси от заданного положения, снимается с движков потенциометров $П_1$, $П_2$ и подается на управляющие обмотки маломощных магнитных усилителей *МУ-1* и *МУ-2*. Туда же подается сигнал стабилизирующей обратной связи по скорости двигателя, снимаемый с тахогенератора *ТГ*. При определенной полярности суммарного управляющего сигнала насыщается *МУ-1*, открываются вентили $УД_1$, $УД_2$, и двигатель вращается в определ. направлении. При обратной полярности управляющего сигнала насыщается *МУ-2*, открываются вентили $УД_3$, $УД_4$ и двигатель реверсируется.

В рассмотренных выше схемах параметрич. управления кпд асинхронного двигателя при снижении скорости уменьшается. Его величина не превышает $(1-s)$, где s — скольжение двигателя. Поэтому для регулирования скорости двухфазных асинхронных двигателей применяется также *частотное управление двигателями* с помощью магнитно-полупроводниковых преобразователей. При частотном управлении кпд двигателя получается выше. Магнитно-полупроводниковые преобразователи пост. тока в перем. дают на выходе напряжение перем. тока прямоугольной формы с частотой и амплитудой, зависящей от величины управляющего сигнала. Необходимая жесткость механич. хар-к двигателей при частотном управлении получается за счет введения обратной связи по скорости.

Лит.: Авен О. И. и Доманицкий С. М., Бесконтактные исполнительные устройства промышленной автоматики, М.—Л., 1960; O'Neill B. J., Controlled rectifiers and magnetic amplifiers, «Electr. Manufact.», 1960, v. 65, № 2, p. 140.

С. М. Доманицкий.

МИКРОПРИВОД ПОСТОЯННОГО ТОКА [D. C (direct current) microdrive; micro-commande à courant continu; Gleichstrom-Mikroantrieb] — электропривод с двигателем до нескольких сотен *вт*. Для управления бесконтактными М. п. т. используются магнитные усилители и транзисторы. В схеме реверсивного управления двигателем пост. тока (рис. 1) магнитный усилитель — двухтактный с внутр. обратной связью и выходом на пост. токе. Обмотки перем. тока магнитного усилителя и выпрямители образуют сдвоенную мостовую схему. Каждый из мостов работает один полупериод. В общую диагональ двух мостов включается цепь якоря двигателя. При отсутствии тока управления мосты уравновешены и напряжение, приложенное к якорю двигателя,

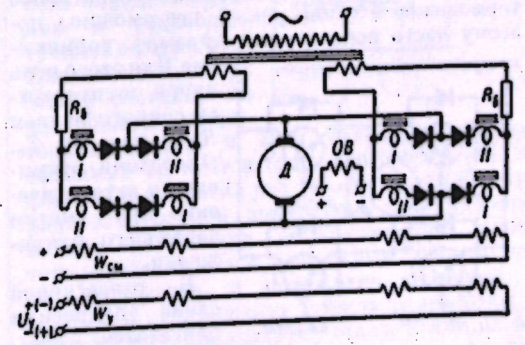


Рис. 1.

равно нулю. В зависимости от полярности управляющего сигнала насыщаются либо сердечники *I*, либо сердечники *II*. При этом полярность напряжения, приложенного к якорю двигателя, изменяется на обратную, и двигатель реверсируется. Сопротивления $R_б$ служат для ограничения тока, протекающего через

тонких пленок в принципе позволяют изготовлять детали, эквивалентные по своим параметрам объемным деталям.

Подложка для М. изготовляется из различных сортов радиотехнич. керамики, стекла, реже — из пластмассы, металла и полупроводникового материала (активная подложка). Она может быть использована и как диэлектрик конденсаторов. Форма и размеры подложки, определяющие размеры М., могут быть различны (обычно окружность с диаметром от 2 до 30 *мм* или квадрат с такой же величиной сторон). Для изготовления пленочных конденсаторов в качестве диэлектрика используются окись тантала, двуокись кремния, титанат бария и др. материалы. Емкость пленочных конденсаторов может находиться в пределах 1 *пф*—1 *мкф*, а рабочие напряжения от 5 до 50 *в*. В качестве проводящего состава сопротивлений применяются нихром, тантал, окись олова, металлокерамич. и другие материалы. Пленочные сопротивления выпускаются на 100 *ом* — 1 *Мом*. Магнитные пленки изготовляются из различных ферромагнитных сплавов. Активными элементами в пленочных М. служат спец. герметизированные микроблоки — аналоги обычных ПП приборов. Габариты этих ПП микроблоков сравнимы с размерами тонкопленочных деталей. Из сверхтонких пленок и спец. микроминиатюрных ПП приборов конструируются узлы радиоэлектронной аппаратуры (триггеры, мультивибраторы, генераторы, усилители и др.) и на их основе создаются радиоэлектронные устройства. *Г. А. Рязанов.*

МИКРОЭЛЕМЕНТ (microelement; micro-élément; Mikroelement) — элемент радиотехнич. схемы, предназначенный для применения в микромодулях.

От обычных радиоэлементов М. отличаются конструкцией, к-рая по возможности сведена к плоскости, а также к малым габаритам и весу. М. крепятся к стандартным пластинкам (рис. 1). На каждой стороне квадрата имеется по три металлизованных паза, с помощью которых М. подключается в электрич. схему. В верхнем левом углу имеется ключ, определяющий начало отсчета пазов (по часовой стрелке). Элект-

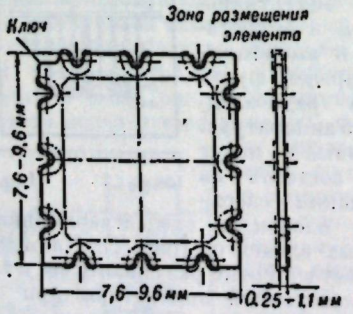


Рис. 1. Чертеж пластинки микроэлемента.

роды М. выводятся на определ. пазы, напр. для конденсаторов и сопротивлений — пазы 1—4, 1—5 и 1—8; положит. электрод полярных М. выводится на паз с меньшим номером. Для изготовления пластинок используются достаточно прочные ВЧ керамич. материалы (стеатит, миналунд и т. п.). На одной пластинке размещается, как правило, один М. Микромодульные ПП диоды и транзисторы по структуре и технологии изготовления *p—n*-переходов, в большей части на основе *германия* и *кремния*, не отличаются от их обычных аналогов. Отличие состоит в способе герметизации *p—n*-переходов: заливка их различными компаундами, герметизация при помощи пайки (когда корпусом ПП прибора служит металлизированная пластинка) и применение микроминиатюрных металлостеклянных герметичных корпусов, укрепляемых на пластинке. Примеры конструкций М. даны на рис. 2 и 3. На рис. 4 показаны виды пассивных микроэлементов. В микромодулях наиболее часто применяются конденсаторы: керамические ВЧ и НЧ (от единиц до неск. тысяч *пф*), металлопленочные и металлобумажные (от сотен *пф*

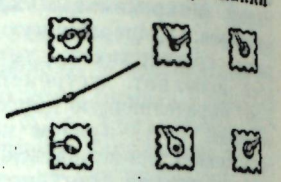


Рис. 2. Микромодульные ПП диоды.

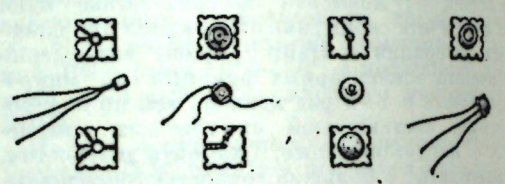


Рис. 3. Микромодульные транзисторы.

до одной *мкф*), оксидно-ПП (от долей единицы до ста *мкф*), воздушные (от единиц до десятков *пф*) и др. Из сопротивлений наибольшее применение получили спец. органич. композиц. печатные и ниточные (от единиц *ом* до

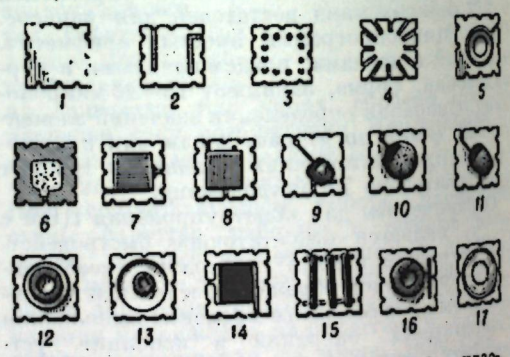


Рис. 4. Микроэлементы пассивные: *1—5* — пластинки для микроэлементов; *6*, *7* — керамич. конденсаторы; *8* — металлопленочный конденсатор; *9—11* — оксидно-ПП конденсаторы; *12*, *13* — проволочные сопротивления; *14* — композиц. печатное сопротивление; *15* — станатное (композиц. ниточное) сопротивление; *16* — катушка индуктивности; *17* — тр-р.

единиц *Мом*), станатные (от единиц *ом* до единиц *ком*), а также проволочные сопротивления — постоянные и переменные. Микромодульные катушки индуктивности выполняются на ферритовых тороидальных сердечниках и крепятся к пластинкам; значения величин индуктивности катушек различных типов лежат в пределах от долей единиц до тысяч *мкгн* с добротностью 40—80 на частоте порядка одного *Мгц*. На ферритовых тороидальных сердечниках выполняются и спец. импульсные микромодульные тр-ры. Микромодульные НЧ тр-ры (входные, межкаскадные, оконечные и др.), как правило, выполняются на сердечниках типа «челнок», изготовляемых из магнитомягких сплавов. Др. М., напр. линии задержки, полосовые фильтры, перем. сопротивления, конденсаторы большой емкости, коммутац. и установочные детали и т. п., не могут быть изготовлены с малыми габаритами. Такие М. изготовляют отдельно с размерами, аналогичными микромодулям (рис. 5 и 6). Номенклатура М. непрерывно пополняется с дальнейшим улучшением

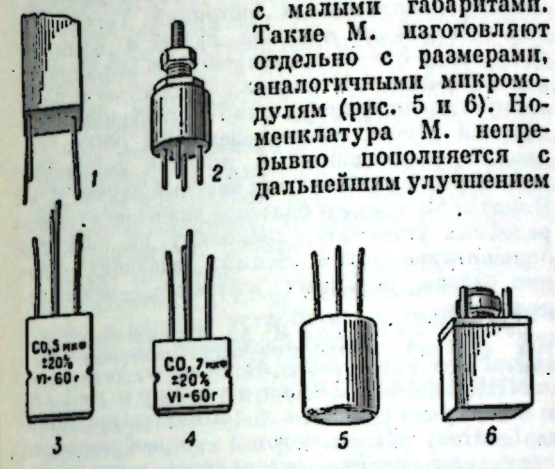


Рис. 5. Элементы в микромодульном исполнении: *1* — проволочное перем. сопротивление; *2* — непроволочное объемное перем. сопротивление; *3* — металлобумажный конденсатор; *4* — металлопленочный конденсатор; *5* — оксидно-ПП конденсатор; *6* — подстроечный конденсатор.

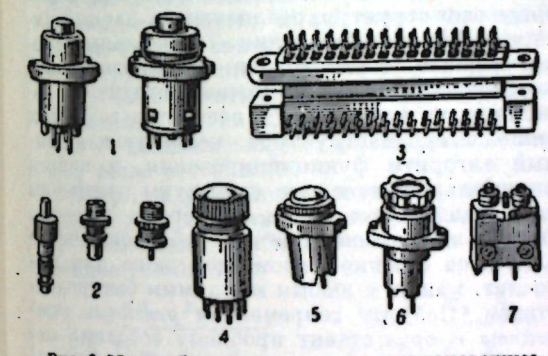


Рис. 6. Малогабаритные коммутац. и установочные изделия: *1* — кнопки; *2* — ВЧ разъемы; *3* — НЧ разъемы; *4* — НЧ переключатель; *5* — сигнальный фонарь; *6* — держатель предохранителей; *7* — контрольное гнездо и штырек.

их электрич. параметров и повышением эксплуатац. возможностей.

В. В. Мокряков, Г. А. Рязанов.

МИНИМАКС (minimax; minimax; Minimax), **седловая точка** действительной функции $f(x, y)$ — точка (x_0, y_0), для к-рой выполняются следующие условия: 1) $f(x, y_0) \leqslant f(x_0, y_0)$; 2) $f(x_0, y_0) \leqslant f(x_0, y)$. Ф-ция $f(x, y)$ определена для всех $x \in A$ и $y \in B$. Напр., М. для функции $y^2 - x^2$ является точка (0, 0), т. к. для всех действительных x и y $0 - x^2 \leqslant 0^2 - 0^2 \leqslant y^2 - 0$. Имеет место теорема Неймана: если существуют $\min\limits_{y \in B} \max\limits_{x \in A} f(x,y)$ и $\max\limits_{x \in A} \min\limits_{y \in B} f(x, y)$, то для того чтобы

$$\min_{y \in B} \max_{x \in A} f(x, y) = \max_{x \in A} \min_{y \in B} f(x, y),$$

необходимо и достаточно, чтобы ф-ция $f(x, y)$ имела седловую точку. Если точка (x_0, y_0) — М., то

$$f(x_0, y_0) = \min_{y \in B} \max_{x \in A} f(x, y) = \max_{x \in A} \min_{y \in B} f(x, y).$$

Понятие М. используется в *игр теории*. Пусть $\|a_{ij}\|$ — платежная матрица игры порядка $m \times n$ (если 1-й игрок применяет i-ю из своих стратегий, 2-й игрок — j-ю из своих стратегий, то платежом игры при этом является число a_{ij}). Тогда

$$\min_j \max_i a_{ij} = \max_i \min_j a_{ij} = v.$$

М. в такой игре выделяет цену игры v и оптим. стратегии игроков. Для матрицы $\|a_{ij}\|$ М. легко находить как наименьший элемент своей строки и наибольший в своем столбце. Напр., у матрицы $\left\|\begin{smallmatrix} 21 & 10 & 13 \\ 20 & 3 & 41 \end{smallmatrix}\right\|$ таким элементом является 10. Однако не у всех матриц существует М., как, напр., у $\left\|\begin{smallmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{smallmatrix}\right\|$. *В. П. Козырев.*

МИНИМАЛЬНО-ФАЗОВАЯ СИСТЕМА (minimum-phase system; système à minimum de phase; System der minimalen Phase, Minimal-Phasen-System) — динамич. система, передаточная ф-ция к-рой имеет конечное число полюсов и нулей, расположенных только в левой полуплоскости (или на мнимой оси). М.-ф. с. обладают св-вом однозначного соответствия между амплитудной и фазовой частотными хар-ками, причем для каждой амплитудной хар-ки М.-ф. с. имеет фазовую хар-ку, наибольшую (в алгебраич. смысле) по сравнению со всеми др. системами, которые могут иметь такую же амплитудную хар-ку. Т. к. у большинства звеньев фазовые хар-ки отрицательны, то М.-ф. с. имеет наименьшую по абс. величине фазовую хар-ку среди всех др. систем, чем и обусловлено ее наименование.

Из соответствия между амплитудной и фазовой хар-ками следует, что М.-ф. с. полностью задается, если известна только амплитудная частотная хар-ка $A(\omega)$. Величина фазы на частоте ω может быть вычислена по амплитудной хар-ке:

$$\theta(\omega) = \frac{2\omega}{\pi} \int_0^\infty \frac{A(\Omega) - A(\omega)}{\Omega^2 - \omega^2} d\Omega,$$

где Ω — переменная интегрирования, к-рое производится по всей оси частот. При использовании логарифмич. частотных хар-к более удобна ф-ла:

$$\theta(\omega) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{dA}{du} \ln \operatorname{cth} \left| \frac{u}{2} \right| du, \qquad (1)$$

где $u = \ln \frac{\Omega}{\omega}$. Из этого соотношения видно, что значение фазы на частоте ω определяется наклоном логарифмич. амплитудной частотной хар-ки. Ф-ция веса $\ln \operatorname{cth} \left| \frac{u}{2} \right|$ (рис. 1) определяет относит. вес наклонов амплитудной частотной хар-ки в различных частях частотного спектра. Поэтому для величины $\theta(\omega)$ основную роль играет наклон амплитудной хар-ки вблизи этой частоты ω. На участках, достаточно удаленных от сопряженных частот, фазовая хар-ка М.-ф. с. равна наклону амплитудной хар-ки, умноженному на π, т. е. для наклона — 20 *дб/дек* $\theta(\omega) = -\pi$, для

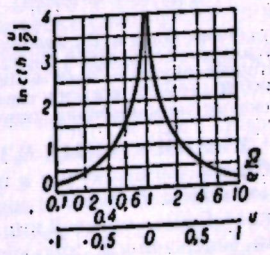


Рис. 1. Функция веса.

наклона —40*дб/дек* $\theta(\omega) = -2\pi$ и т. д. (при двукратном изменении частоты говорят, что она изменилась на октаву, а при 10-кратном — на декаду; число октав в интервале частот ω_2 ω_1 определяется как $\frac{\lg\frac{\omega_2}{\omega_1}}{\lg 2} = 3{,}32 \lg \frac{\omega_2}{\omega_1}$ октав, а число декад в том же интервале частот равно $\lg\frac{\omega_2}{\omega_1}$ декад). Приближ. построение фазовой хар-ки по амплитудной в М.-ф. с. производится следующим образом (рис. 2): график ф-ции

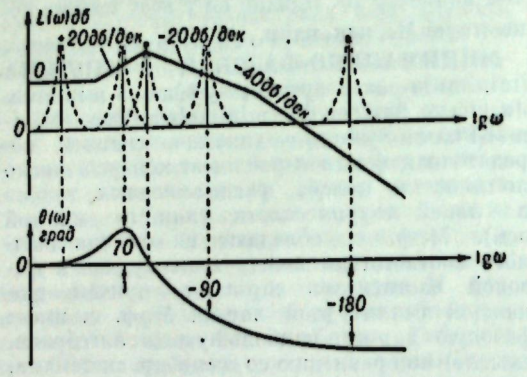


Рис. 2. Построение $\theta(\omega)$ по $A(\omega)$.

веса наносится на амплитудную хар-ку, ординаты ф-ции веса и амплитудной хар-ки перемножаются, после чего производится приближ. оценка интеграла (1). Обратное определение амплитудной хар-ки по фазовой в М.-ф.с. может быть выполнено лишь с точностью до коэфф. усиления, не зависящего от частоты.

В М.-ф. с. амплитудная хар-ка не может быть равна нулю или иметь бесконечно большие значения при $\omega \neq 0$ и $\omega \neq \infty$. Обычно в М.-ф.с., по причине наименьшего фазового отставания, легче обеспечить устойчивость; кроме того, на пассивных элементах можно реализовать только М.-ф. с. Поэтому для динамич. коррекции применяются гл. обр. минимально-фазовые цепи. Однако в ряде случаев М.-ф. с. не может обеспечить определ. требований, напр. полной фильтрации на нек-рой конечной частоте. Тогда могут применяться неминимально-фазовые цепи. К ним относятся прежде всего системы с запаздыванием, а также мостовые цепи, напр. фильтр бесконечной полосы с передаточной ф-цией $\frac{1-Ts}{1+Ts}$ и частотными хар-ками:

$$A(\omega) = 1 \text{ и } \theta(\omega) = -2 \operatorname{arc\,tg}(\omega T).$$

Лит.: Бодэ Г., Теория цепей и проектирование усилителей с обратной связью, пер. с англ., М., 1948; Корректирующие цепи в автоматике. Сборник пер. ст., М., 1954; Кузовков Н. Т., Теория автоматического регулирования, основанная на частотных методах, 2 изд., М., 1960. *Р. Ш. Рутман.*

МИНИМАЛЬНЫЙ ЧЛЕН логической (булевой) функции (logical function minimal member; membre minimal; Minimal-Glied) — простой импликант функции, члены совершенной дизъюнктивной нормальной формы (СДНФ) к-рой соответствуют не только всем рабочим состояниям релейной цепи, но также и нек-рым ее неиспользуемым и безразличным состояниям. Если условия работы нек-рой релейной цепи заданы недоопределенной логич. ф-цией, имеющей в СДНФ k условных членов, соответствующих *безразличным состояниям* и *неиспользуемым состояниям* цепи, то условия работы этой цепи могут быть выражены любой из 2^k полностью определенных ф-ций $f_1, f_2, \ldots, f_2{}^k$; к-рые получаются из заданной недоопределенной ф-ции F путем доопределения неиспользуемых состояний. Тогда каждый *импликант простой* любой из функций $f_1, f_2, \ldots, f_2{}^k$ будет называться М. ч. недоопределенной ф-ции F. Поскольку полностью определенную логич. ф-цию можно рассматривать как частный случай недоопределенной (число условных членов равно 0), простой импликант можно рассматривать как частный случай М. ч. Понятие М. ч. имеет большое значение в теории релейных устройств, поскольку на практике большинство логич. ф-ций, задающих условия работы релейных устройств,— недоопределенные.

Лит.: Гаврилов М. А., Минимизация булевых функций, характеризующих релейные цепи, «АиТ», 1959, т. 20, № 9, с. 1217—38. *В. Д. Казаков.*

МИНИМИЗАЦИЯ структуры релейного устройства (minimization; minimalisation; Minimisierung) — преобразование структуры релейного устройства, к-рое уменьшает число его элементов без нарушения алгоритма функционирования устройства. Основная задача М. — нахождение минимальной структуры, т. е. структуры, содержащей наименьшее число элементов заданных типов среди всех структур, реализующих данный алгоритм функционирования. Тривиальный способ решения этой задачи: последовательное рассмотрение всех возможных структур, состоящих из 1, 2, 3 и т. д. элементов заданных типов. Первая структура, реализующая данный алгоритм функционирования, и явится минимальной (т. к. все структуры с меньшим числом элементов были проверены прежде). Однако этот способ уже при небольшом числе элементов слишком громоздок даже для вычислит. машин с любым мыслимым быстродействием. Поэтому современная *релейных устройств теория* ставит проблему создания методов М., к-рые не содержат перебора или содержат его в миним. степени и в то же время являются алгоритмич. Методы М. различаются в зависимости от того, к каким элементам они применяются. Наиболее существенно различие между М. числа промежуточных элементов (или запоминающих элементов) и М. числа логич. элементов (в случае релейно-контактных структур — М. числа контактов), т. е. числа логич. звеньев структуры.

Минимизация числа промежуточных элементов. Число промежуточных элементов непосредственно зависит от числа внутр. состояний, принимаемых релейным устройством (см. *Релейное устройство многотактное*). В частности, для реализации n состояний необходимо не менее $\log_2 n$ двухпозиционных промежуточных элементов. Поэтому под М. числа промежуточных элементов обычно понимают М. числа состояний релейного устройства. В различных методах М. числа состояний основную роль играет понятие эквивалентности состояний. Два состояния q_i в устройстве S и q_j в устройстве T (или в том же устройстве S) наз. эквивалентными, если в случае, когда S находится первоначально в состоянии q_i, а T — в состоянии q_j, не существует *последовательности входной*, к-рая, воздействуя на S и T, заставляла бы S и T производить различные *последовательности выходные*. Два устройства S и T наз. эквивалентными, если для каждого состояния q_i устройства S существует по меньшей мере одно состояние q_j устройства T, эквивалентное q_i, и для каждого состояния q_j устройства T существует по меньшей мере одно состояние q_i устройства S, эквивалентное q_j. Очевидно, если состояния q_i и q_j эквивалентны, то работу устройства, находящегося в состоянии q_i, нельзя отличить от работы устройства, находящегося в состоянии q_j; если же устройства S и T эквивалентны, то одно из них можно заменить др., т. к., согласно определению, в каком бы начальном состоянии S ни находилось, в T можно найти такое начальное состояние, что работу T нельзя будет отличить от работы S.

Если состояние q_1 эквивалентно q_2, а q_2 эквивалентно q_1, то q_1 эквивалентно q_1. Поэтому в каждом устройстве состояния можно разбить на непересекающиеся группы эквивалентных состояний, т. е. такие, что каждая группа содержит только состояния, эквивалентные между собой, и каждое состояние содержится только в одной группе (если в устройстве эквивалентных состояний нет, то в каждой группе будет по одному состоянию). Тогда М. числа состояний устройства S производится след. образом: 1) отыскиваем в S все состояния, эквивалентные между собой, и разбиваем все состояния S на группы эквивалентных состояний; 2) все состояния одной и той же группы заменяем каким-либо одним из этой группы (если, например, состояния q_1, q_3 и q_7 эквивалентны, то в таблице переходов S заменяем q_3 и q_7 на q_1). Получаем новое устройство T, эквивалентное S, но содержащее меньшее число состояний.

Напр., в устройстве, заданном таблицами (где: x_1, x_2, x_3 — входные комбинации, z_1, z_2, z_3 — выходные комбинации, q_1, …, q_n — внутренние состояния):

	x_1	x_2	x_3
q_1	q_1	q_4	q_2
q_2	q_1	q_4	q_1
q_3	q_3	q_1	q_3
q_4	q_3	q_3	q_2

	x_1	x_2	x_3
q_1	z_2	z_1	z_3
q_2	z_2	z_1	z_3
q_3	z_1	z_3	z_1
q_4	z_1	z_3	z_1

эквивалентны состояния q_1 и q_2; поэтому можно получить новое устройство, эквивалентное исходному, но с тремя состояниями:

	x_1	x_2	x_3
q_1	q_1	q_4	q_1
q_3	q_3	q_1	q_3
q_4	q_3	q_3	q_1

	x_1	x_2	x_3
q_1	z_2	z_1	z_3
q_3	z_1	z_3	z_1
q_4	z_1	z_3	z_1

В случае, когда условия работы не содержат запрещенных или неиспользуемых входных последовательностей (т. е. последовательностей, к-рые в реальной работе устройства никогда не встретятся) и для каждого состояния и входной комбинации определено след. состояние (т. е. все клетки таблицы переходов заполнены), разбиение на группы эквивалентных состояний производится однозначно и нахождение устройства с миним. числом состояний не представляют особых трудностей. Если же нек-рые входные последовательности запрещены (напр., по условиям работы, 2 входа не могут изменяться одновременно, и поэтому последовательности 01,10 или 11,00 не встречаются) или для нек-рого состояния безразлично, какой выход ему приписать, то в таблице переходов имеются пустые клетки и задача усложняется. Пустые клетки можно произвольно заполнять, и в зависимости от того, как они заполнены, эквивалентными могут оказаться разные состояния. Разбиение на группы эквивалентных состояний здесь уже не однозначно; при М. возникают трудности, еще не решенные до конца.

Минимизация числа логических звеньев структуры. Всякой релейной структуре (за исключением *мостовых структур*) взаимно однозначно соответствует логич. выражение (см. *Алгебра логики*), а именно: для контактных схем буквам выражения соответствуют контакты, а знакам операций — паралл. или последоват. соединения; для схем из функц. элементов знакам операций соответствуют элементы, выполняющие эти операции. Поэтому М. релейных структур, осуществляющих логич. операции, можно свести к М. логич. выражений, соответствующих этим структурам. Именно в этом заключается большая роль математич. логики в технике. Методы М. существенно зависят от типа логич. элементов, из к-рых строится устройство, и типа устройства, определяемого числом входов и выходов. М. устройств, имеющих один выход и реализуемых на логических элементах «и», «или» и «не», сводится к М. выражений логич. (булевых) ф-ций n перем. (где n — число столбцов в *таблице состояний* или в *эквиваленте одноактном*), выражающих условия работы синтезируемого устройства. Существует неск. десятков методов получения миним. норм. выражений логич. (булевых) ф-ций. В них, как правило, входят: 1) отыскание всех *импликантов простых* заданной функции и 2) построение (или выделение) таких дизъюнкций простых импликантов, к-рые эквивалентны исходной ф-ции и содержат наименьшее (по сравнению с др. такими дизъюнкциями) число логич. знаков «и», «или» и «не». К таким методам относятся методы Квайна — Маккласки, Нельсона, Блэка — Порецкого, Гаврилова и др. Поскольку число шагов в этих алгоритмах чрезвычайно быстро растет с ростом числа перем. в ф-ции и уже при 8—10 перем. достигает величины, недоступной даже для ЭВМ, были созданы «практические» методы упрощения ф-ций. К ним относятся карточные методы и методы, основанные на отыскании не всех простых импликантов заданной ф-ции, а лишь тех, из к-рых можно построить одну из тупиковых (неизбыточных) форм. При М. не полностью определенных ф-ций (к-рые встречаются в большом числе практич. задач) с помощью таких методов удобно получать частные миним. формы. Однако в большинстве случаев т. н. «скобочные» выражения [т. е. выражения вида $f_1 = x_1(x_2 + \bar{x}_4) + x_1$, $f_2 = (x_1 + x_3)(x_2 + x_3 x_5) + x_1 \bar{x}_5$ и др.] имеют меньшее число операций «и», «или», «не», чем миним. норм. выражения тех же ф-ций [ср. $(x_1 + x_1)(x_2 + \bar{x}_3 + x_4)$ — норм. конъюнктивная форма для f_1 и $x_1 x_2 + x_2 x_3 + x_1 x_4 x_5 + x_2 x_4 + x_1 \bar{x}_5$ — норм. дизъюнктивная форма для f_2], а следовательно, и структуры устройств, соответствующие этим выражениям, будут более экономичными. Алгоритмы получения миним. «скобочных» выражений значительно сложнее алгоритмов

М. норм. форм, поэтому на практике обычно довольствуются вынесением общих множителей (или слагаемых) в одном из миним. норм. выражений.

М. бесконтактных устройств, содержащих неск. выходов (1, k — полюсников), по методу Вандлинга, к-рый является дальнейшим развитием метода Макноттона и Митчела, сводится к М. вспомогат. логич. ф-ций $n+k$ перем. (n — число перем. в ф-циях, реализуемых на выходах, k — число выходов), описывающих данное устройство. Эти вспомогат. ф-ции могут быть минимизированы любым из известных методов М. логич. ф-ций (напр., методом Квайна-Маккласки). Макноттон и Митчел предложили для М. таких устройств т. н. метод «проб», удобный для машинизации. Для упрощения схем, синтезируемых на др. логич. элементах (напр., штрих Шеффера, пороговые элементы и др.), или создается свой особый математич. аппарат (напр., метод Моисила и метод Мурога), или же получают неск. миним. норм. форм заданной ф-ции и выбирают из них те, к-рые наиболее просто реализуются на данных элементах.

К М. релейно-контактных устройств и др. устройств, содержащих элементы с двухсторонней проводимостью, применимы методы, описанные выше. Однако для таких устройств существуют дополнит. возможности М., основанные на введении мостиковых элементов. Известно неск. методов синтеза *мостовых структур*, позволяющих строить экономичные схемы (методы Гаврилова, Поварова, метод Ф. Свободы и т. д.— см. *Синтез релейных устройств*). Однако эти методы не гарантируют минимальности получаемых решений. Общих методов получения абсолютно миним. мостиковых структур пока еще не существует.

Лит.: Ауфенкамп Д. Д., Хон Ф. Е., Анализ последовательностных машин, в кн.: Математика. Периодич. сб. переводов иностранных статей. 3 : 3, М., 1959; Гаврилов М. А., Минимизация булевых функций, характеризующих релейные цепи, «АиТ», 1959, т. 20, № 9; его же, Построение схемы с мостиковыми соединениями, в кн.: Промышленная телемеханика, М., 1960; Глушков В. М., Некоторые проблемы синтеза цифровых автоматов, «ЖВМ и МФ», 1961, т. 1, № 3; Закревский А. Д., Визуально-матричный метод минимизации булевых функций, «АиТ», 1960, т. 21, № 3; Варшавский В. И., Некоторые вопросы теории логических сетей, построенных из пороговых элементов, в кн.: Вопросы теории математических машин, сб. 2, М., 1962; Колдуэлл С.Х., Логический синтез релейных устройств, пер. с англ., М., 1962; Ginsburg S., On the reduction of superfluous states in a sequential machine, «J. Assoc. Comput. Machinery», 1959, v. 6, № 2; Paull M. C., Unger S. H., Minimizing number of states in incompletely specified sequential switching functions, «IRE Trans. Electronic Comput.», 1959, v. EC-8, № 3; Quine W. V., A way to simplify truth functions «Amer. Math. Monthly», 1955, v. 62, № 9, p. 627—31; Vandling G. C., The simplification of multiple-output switching networks composed of unilateral devices, «IRE Trans. Electronic Comput.», 1960, v. EC-9, № 4.

В. Д. Казаков, О. П. Кузнецов.

МИХАЙЛОВА КРИТЕРИЙ (Mikhailov's criterion; critère de Mikhailov; Michailow-Kriterium) — критерий устойчивости линейных САР с пост. параметрами. М. к. применяется при исследовании устойчивости замкнутых систем, свободное движение к-рых описывается дифференц. ур-ниями вида

$$a_0\frac{d^nx}{dt^n}+a_{n-1}\frac{d^{n-1}x}{dt^{n-1}}+\ldots+a_nx=0.$$

Ф-ция $H(p)=a_0p^n+a_1p^{n-1}+\ldots+a_n$ наз. характеристич. многочленом этого ур-ния. Положив $p=j\omega$, мы получим комплексную ф-цию $H(j\omega)=u(\omega)+jv(\omega)$, к-рую можно представить на плоскости комплексного переменного, отложив по оси абсцисс действит. часть, а по оси ординат — мнимую. При изменении ω от 0 до ∞ конец вектора $H(j\omega)$ опишет кривую, наз. годографом Михайлова. По виду годографа $H(j\omega)$ оценивают устойчивость системы. При $\omega=0$ $H(j\omega)$ обращается в действит. число, конец вектора будет лежать на действит. оси в нек-рой точке M_0 (рис. 1). При увеличении ω вектор начинает вращаться вокруг начала

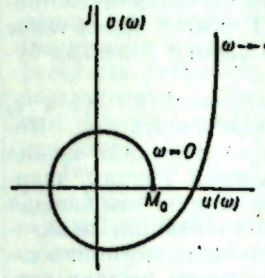


Рис. 1.

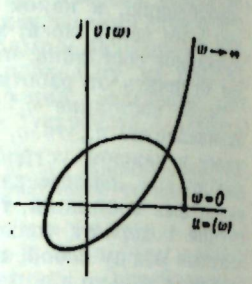


Рис. 2.

координат и при изменении ω от 0 до ∞ повернется на нек-рый угол $n\frac{\pi}{2}$. При этом М. к. формулируется: САР будет устойчива, тогда и только тогда, если при возрастании ω от 0 до ∞ вектор $H(j\omega)$ повернется на угол $n\frac{\pi}{2}$, где n — степень уравнения $H(p)=0$, или, иначе, годограф $H(j\omega)$ при изменении ω от 0 до ∞, начиная с положит. действит. оси, обходит последовательно в положит. направлении (против часовой стрелки) n квадрантов. Это справедливо, когда $u(0)>0$, $v'(0)>0$ (необходимое условие устойчивости), а ур-ния $u(\omega)=0$ и $v(\omega)=0$ имеют все действит. и перемежающиеся корни,

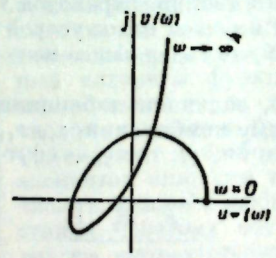


Рис. 3.

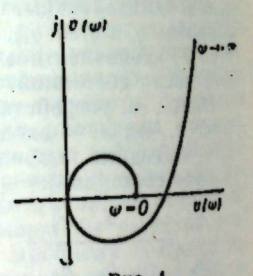


Рис. 4.

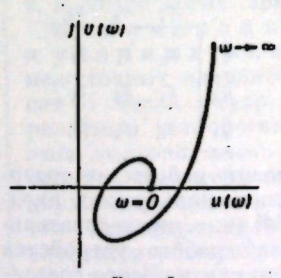


Рис. 5.

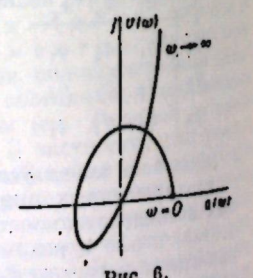


Рис. 6.

т. е. между двумя соседними корнями $v(\omega)=0$ лежит один корень $u(\omega)=0$, и наоборот, $u(\omega)$ и $v(\omega)$ действит. и мнимая части ф-ции $H(j\omega)$.

Система является неустойчивой, если ее характеристич. многочлен имеет корни с положит. действит. частью. По виду годографа определяют число этих корней. Если полный угол поворота вектора $H(j\omega)$ равен $(n-2m)\frac{\pi}{2}$, то число корней равно m. Примерные годографы систем пятого порядка, показанные на рис. 1 и 2, соответствуют устойчивым системам, на рис. 3—6 — неустойчивым (годографы на рис. 5 и 6 находятся на границе устойчивости). К. м. применим и к системам с запаздыванием. Этим критерием целесообразно пользоваться при $n\geqslant 5$ и при исследовании сложных многоконтурных систем.

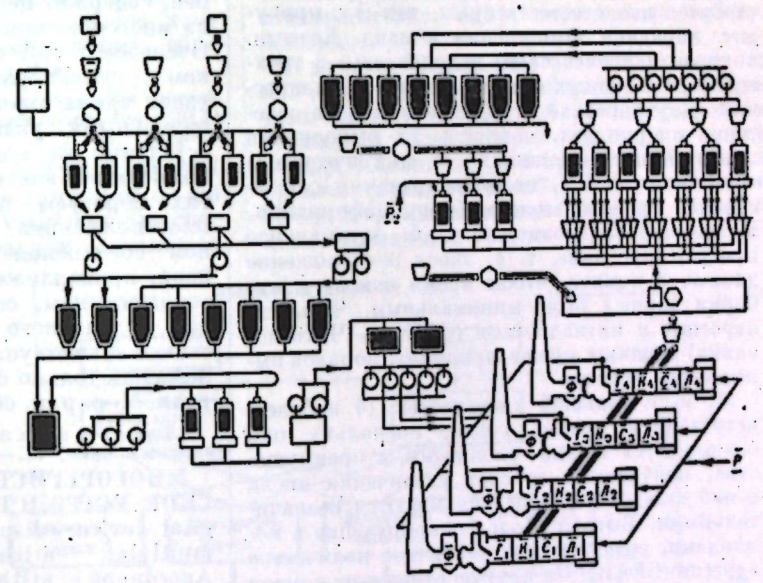
Лит.: Фельдбаум А. А., Электрические системы автоматического регулирования, 2 изд., М., 1957; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

Л. П. Сысоев.

МНЕМОСХЕМА (мнемоническая схема) (graphic panel; mnémoschéma; mnemonisches Schema, Übersichts-Fabrikationsschema) — комплекс символов, изображающих элементы контролируемой или управляемой установки и их взаимные связи, размещенный на панелях контрольного щита или пульта управления. Состояние производственного процесса или отдельных его частей (работа, простой, авария, ремонт) отражается соответствующими индикаторами. М. располагаются на панелях вместе с сигнальными, а иногда и с измерит. приборами (см. *Графическая панель*).

Различают 3 типа: мимич., световую и полусветовую. На мимич. (несветящейся) М. производственное оборудование и соединит. связи отображаются обычно сплошными цветными накладными плитками, укрепленными на лицевой стороне панели пульта в порядке, отражающем принципиальную энергетич., технологич., транспортную и др. схемы установки. Напр., на М. электростанции шины изображаются горизонтальными, а подводящие и отходящие линии — вертикальными полосами, генераторы и трансформаторы — кружочками, выключатели — квадратами. Все эти элементы окрашены по схеме различными цветами в зависимости от напряжения. Рядом с изображениями генераторов и выключателей расположены сигнальные лампы двух цветов: красный цвет соответствует их включенному состоянию, зеленый — выключенному. Мигающий свет обычно является сигналом несоответствия положения выключателя новому состоянию объекта. Иногда мимич. схемы выполняются только красками.

На световой М. все действующие узлы контролируемого объекта и связи между ними отображаются световыми символами различных цветов. Имеется несколько исполнений световых М.: 1. Стеклянные матовые панели, закрашенные с внутренней стороны темной непрозрачной краской с незакрашенным рисунком М.; освещаются разноцветными лампами с рефлекторами, направляющими рассеянный свет на просветы в панели. 2. М., набранные из «светопроводниковых» элементов. Светящийся символ образуется фронтальными концами одного или неск. «светопроводов», изогнутых по длине пластин из прозрачной пластмассы, покрытых непрозрачной оболочкой и направляющих свет от цветных ламп к символу. Возможно изготовление световой М. из спец. стекловолокна, собранного в жгуты и отполированного с торцов; один из торцов подсвечивается цветными лампами, а другой сформирован в символ соответствующей формы (или в неск. разных символов) и выведен на лицевую часть панели. В качестве световодов используются также стеклянные трубки, заполняемые жидкостями разных цветов. 3. Электролюминесцентные М. обычно представляют собой токопроводящие стекла с рисунком М., выполненным электролюминофорным составом, покрытым токопроводящей краской (рис.). При подведении напряжения 100—200 *в* с частотой 400—5000 *гц* между токопроводящим стеклом и проводящей крас-



Электролюминесцентная мнемосхема цементного завода.

кой рисунок светится зеленым, голубым или оранжевым светом (в зависимости от вида электролюминофора).

Сигнализация фактич. состояния агрегатов («включено», «выключено», «авария» и т. п.) производится в световых М. зажиганием, гашением, миганием соответствующего элемента (участка) М. Отклонение контролируемых величин сигнализируется зажиганием сигнальных лампочек или спец. знаков с указанием допустимых (верхнего, нижнего) пределов. В полусветовых М. светятся только узловые точки, остальные части изображены краской или накладными полосками. Разработаны конструкции этих М. из стандартных элементов (точка, тавро, колено, крест и др.). М. дают наглядное *информации представление* о состоянии контролируемого объекта, облегчают восприятие этой информации.

Лит.: Темников Ф. Е., Автоматический контроль, М., [1949]; Классон, в сб.: Централизации управления и автоматика на электростанциях, под ред. Е. Д. Зейлидзона, вып. 1, М.—Л., 1960; Наумов А. В., Централизация управления на зарубежных электростанциях, «Теплоэнерг.», 1955, № 4, с. 61—62; Шонброт И. М., Централизованный контроль технологических процессов, М.—Л., 1961; Novak A. V., Graphic panels, «Instruments», 1950, v. 23, № 11, p. 1128—29.

А. И. Галактионов.

МНОГОАДРЕСНАЯ МАШИНА (multiaddress machine; machine à adresses multiples; Vieladressen-Maschine) — вычислит. машина, команды к-рой содержат более одного *адреса*. Адресность машины при этом определяется лишь осн. адресами (операндов, результатов, команд). М. м. при прочих равных условиях обладают более высокой производительностью, чем одноадресные, и требуют меньшего числа команд для решения одной и той же задачи, поскольку каждая команда М. м. выполняет больше ф-ций. Однако М. м. сложнее одноадресных. Кроме того, нек-рые адреса М. м. оказываются иногда излишними с точки зрения структуры вычислит. процесса, что приводит к неэффективному использованию оборудования и памяти машины (напр., при выполнении взаимно связанных операций, когда результат выполнения каждой операции является операндом для последующей). М. м. строятся как с естественным, так и с принудит. порядком выполнения команд. Естеств. порядок наиболее часто используется в трехадресных машинах и неск. реже в двухадресных. Двухадресная структура команд в сочетании с принудит. порядком их выполнения применяется в машинах «с циклическими» оперативными ЗУ, не позволяющими осуществлять произвольную выборку информации. В этом случае возможно т. н. оптимальное программирование, т. е. такое расположение данных в памяти, чтобы время поиска и выборки данных было минимальным. Четырехадресные и пятиадресные (САПО — Чехословакия) машины имеют принудит. порядок выполнения команд.

М. м. с большой адресностью (4 и более) встречаются крайне редко, поскольку они оказываются весьма сложными, а преимущества, получаемые за счет увеличения числа ф-ций каждой команды, оказываются незначительными. Бывают М. м., оперирующие с командами, содержащими различное количество адресов (СЕАК). На другую структуру команд машины переводятся либо вручную с помощью особых переключателей, либо автоматически в процессе решения задачи посредством спец. команд или признаков. В последнем случае можно выбирать наиболее подходящую структуру команд для различных участков решения задачи.

И. А. Даниельченко.

МНОГОПОЛЮСНИК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ *n* **переменных** (универсальный 1, 2^{2^n}-полюсник) (universal multipole; multipôle universel; universaler Vielpol) — релейно-контактная структура, имеющая 1 вход и 2^{2^n} выходов, в к-рой, какова бы ни была логич. ф-ция f от n переменных, найдется выход (и притом только один), такой, что ф-ция проводимости между входным и этим узлом будет равна f. Это значит, что любая ф-ция n переменных может быть реализована состоянием одного из выходов М. у. Теоретич. исследование М. у. было впервые проведено К. Шенноном, к-рый показал, что всякий М. у. можно построить с $2 \cdot 2^{2^n}$ контактами. Однако Г. Н. Поваров получил более точную оценку числа контактов, необходимых для построения М. у.: $2 \cdot 2^{2^n} - 2\sum_{i=0}^{n-1} 2^{2^i} + 2n - 4$.

Лит.: Shannon C. E., The synthesis of two-terminal switching circuits, «Bell. System Techn. J.», 1949, v. 28, № 1, p. 59—98; Поваров Г. Н., Математико-логическое исследование синтеза контактных схем с одним входом и K выходами, в сб.: Логические исследования, М., 1959. *Н. Д. Казаков.*

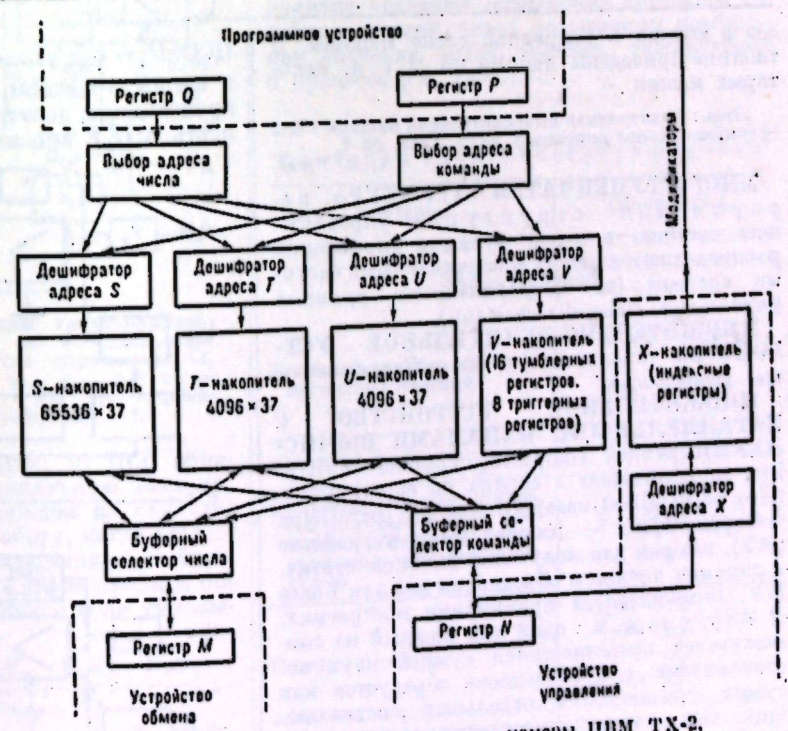
МНОГОПОЛЮСНОЕ СОЕДИНЕНИЕ РЕЛЕЙНЫХ ЦЕПЕЙ (multipole relay circuit connection; connexion multipôle de chaînes à relais; Vielpolkopplung von Relaiskreisen) — соединение двух или большего числа релейных многополюсников (в частном случае двухполюсников), в результате к-рого получается *релейный многополюсник*. М. с. р. ц. может быть последоват. и параллельным. При последоват. М. с. р. ц. все конечные узлы (полюсы) каждого многополюсника соединяют с нач. узлами (полюсами) следующего по пути передачи воздействия многополюсника. Каждая из цепей, проходящих между нач. и конечным узлом многополюсника, полученного в результате последоват. многополюсного соединения релейно-контактных цепей, содержит цепи, принадлежащие каждому из многополюсников, входящих в М. с. р. ц. Последоват. М. с. р. ц. обозначается символом ⫶ . При паралл. М. с. р. ц. часть конечных узлов одних многополюсников соединяется с начальными узлами др. многополюсников, остальные же конечные узлы первых многополюсников вместо с конечными узлами других образуют конечные узлы полученного многополюсника. При паралл. многополюсном соединении релейно-контактных цепей цепи, принадлежащие всем соединяемым многополюсникам, составляют только часть цепей полученного многополюсника, и обязательно существует хотя бы одна цепь, принадлежащая только одному многополюснику. Паралл. М. с. р. ц. обозначают символом #.

Лит.: Гаврилов М. А., Теория релейно-контактных схем, М.—Л., 1950. *В. М. Остиану.*

МНОГОРЕГИСТРОВОЕ АРИФМЕТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ЦВМ (multiregister digital device; dispositif numérique à registres multiples; arithmetische Mehrfachregister-Anordnung, arithmetisches Mehrfachregister-Gerät) — устройство, в состав к-рого, помимо осн. оборудования, необходимого для выполнения четырех действий арифметики (обычно одного сумматора и двух регистров), входят несколько дополнит. регистров. Последние служат для расширения арифметич. и логич. возможностей и повышения производительности ЦВМ. Напр., для ускорения операции умножения (для запоминания переносов) вводится дополнит. накапливающий регистр (машина М-2), к-рый позволяет не ожидать выполнения сквозного переноса при суммировании частичных произведений и тем самым сокращает время умножения на величину порядка $(n-1)T_{пер}$ (n—число разрядов множителя, $T_{пер}$ — время сквозного переноса). Этот регистр можно использовать также для ускорения деления; на нем хранится число, кратное делителю, или запоминаются переносы (заемы) [2]. Арифметич. операции с двойной точностью могут быть осуществлены схемно при наличии в АУ одного дополнит. регистра. Операции с плавающей запятой требуют дополнит. АУ для выполнения операций над порядками. В специализир. ЦВМ дополнит. регистры и сумматор используются для вычисления выражений вида abc, $\frac{ac}{b}$, ab^2 и др. за время одного умножения. Часто неск. регистров АУ применяются для хранения величин, индексов (т. н. B-регистры). В этом случае модификации адресов в машине могут выполняться параллельно с др. операциями в основном такте работы машины. Дополнит. регистры АУ могут играть также роль оперативных ячеек памяти с малым временем обращения, в к-рых хранятся результаты арифметич. и логич. операций, используемые в дальнейших вычислениях. Т. к. число рабочих ячеек оперативной памяти обычно невелико, эти регистры (число их может достигать 32) позволяют значительно повысить быстродействие машины. Наконец, регистры АУ часто используются при вводе — выводе данных в машину с одновременным ее преобразованием из последоват. кода в параллельный, из одной системы счисления в др. Для одноврем. выполнения вычислений и операций ввода нужно выделить спец. группу буферных регистров. Изменяя в широких пределах состав оборудования АУ, можно создать гибкую логическую структуру цифровой машины, обладающую высоким быстродействием.

Лит.: Вопросы теории математических машин, сб. 1, М., 1958; «Тр. ин-та радиоинженеров» (США), рус. пер., 1961, № 1. *Г. Б. Смирнов.*

МНОГОСТУПЕНЧАТАЯ СИСТЕМА ПАМЯТИ (multistep memory system; système de mémoire à échelons multiples; Vielstufen-Speichersystem) — комплекс нескольких *запоминающих устройств оперативных* с различными емкостями и временами обращения, объединенных каналами обмена информаций как между собой, так и с ЦВМ. М. с. п. присуща большим совр. вычислит. машинам. В большинстве случаев она состоит из двух или трех самостоят. ЗУ, наз. иногда ступенями или каскадами. Одна из ступеней М. с. п. обладает быстродействием в неск. десятых долей *мксек* и емкостью от неск. десятков до неск. сотен чисел. В составе М. с. п. имеется и память с емкостью более десятка тысяч чисел. Все ЗУ в М. с. п. имеют единую систему адресов. В М. с. п. широко применяют принцип секционирования, т. е. использование неск. одинаковых ЗУ со сдвинутыми друг относительно друга *временными диаграммами* работы. Выбор той или иной секции определяется младшими или старшими разрядами кода адреса. При этом ячейки с последоват. адресами могут располагаться в различных секциях, не зависимых друг от друга. Это позволяет последовательным обращениям к памяти перекрываться во времени: выборка из одной секции может совпадать с регенерацией в другой. Ср. время обращения к ЗУ будет меньше фактического. Кроме того, принцип секционирования позволяет сравнительно просто увеличивать емкость М. с. п. включением дополнит. секций. Самая быстродействующая ступень памяти хранит в большинстве случаев модификаторы команд, т. е. фактически является индексными регистрами; она может использоваться также и для запоминания промежуточных результатов вычислений. Самая медленнодействующая, но большая по емкости память хранит осн. объем оперативной информации. При использовании М. с. п. уменьшается время обращения к рабочим ячейкам, хранящим промежуточные результаты и числа для образования циклов в вычислениях, а также совмещается выполнение арифметич. и логич. операций, операций ввода — вывода и операций модификаций адресов в командах. М. с. п. используется для сопряжения *запоминающих устройств внешних*, входных — выходных устройств с вычислит. машиной для работы независимо друг от друга или с любой степенью взаимодействия, напр. очередностью обслуживания.



Блок-схема многоступенчатой системы памяти ЦВМ ТХ-2.

В машине ТХ-2 (США) М. с. п. состоит из S, T, U, V и X-накопителей (рис.) с дешифраторами адреса, схемами выбора адреса числа и команды, а также буферных селекторов чисел и команд. Накопитель S с временем обращения 6,5 *мксек* (время выборки 2,8 *мксек*) и емкостью 65 536 37-разрядных чисел работает на принципе совпадения токов. Оборудование S-накопителя состоит из 604 ламп и 1406 транзисторов. ЗУ типа T с управлением на транзисторах, емкостью 4096 37-разрядных чисел, имеет время обращения 5,5 *мксек* и время выборки 2,4 *мксек*. В нем используется 1460 транзисторов и 64 диода. Самым быстродействующим является ЗУ типа X (хранящее модификаторы в УУ) с емкостью 64 19-разрядных чисел, с непосредственной выборкой слов, временем выборки 0,8 *мксек* и временем обращения 4 *мксек*; в нем используется 434 транзистора. U-накопитель содержит 4096 слов и

является *запоминающим устройством бу-ферным* при преобразовании информации. V-накопитель состоит из 8 триггерных регистров, находящихся в электронной схеме машины, и 16 тумблерных регистров, на к-рых можно набрать последовательности программы, выполняемые по желанию оператора. Подобная организация памяти позволяет совмещать выполнение операций во времени, а наличие буферных селекторов числа обеспечивает изменение структуры команды и числа путем коммутации отдельных частей чи-

ЭВМ, фирма	Емкость (кол-во чисел)	Разрядность (кол-во разрядов)	Время обращения (*мксек*)	Время выборки (*мксек*)	Схемное выполнение	Примечание
«Ларк», Ремингтон Рэнд, США	10000	12 десятичных	4	2	Ферритовые сердечники	Отдельные секции по 2500 чисел
	99		1		Триггеры	
«Стретч», ИБМ, США	16384	64 двоичных	2			Отдельные секции по 4096 чисел
	1024		0,6		Ферритовые сердечники	Отдельные секции по 512 чисел
ТХ-2, лаборатория Линкольна, США	65536	37 двоичных	0,5	2,8	Матричная схема на ферритовых сердечниках	
	4096		5,5	2,4		
	64	19 двоичных	4	0,8	Схема полного тока	
«Марка VI», электротехнич. лаборатория, Япония	8192	52 двоичных	2		Матричная схема на ферритовых сердечниках	Проектируется
		«	0,2		Туннельные диоды	

сел и команд в разрядной сетке машины. В таблице приведены данные по М. с. п. некоторых машин.

Лит.: Электронная вычислительная машина ТХ-2 (функциональное описание), «ЗР», 1959, № 7.

А. В. Гусев.

МНОГОСТУПЕНЧАТАЯ СТРУКТУРА, иерархичная структура,— управляющая система, в к-рой функции управления распределяются между соподчиненными частями системы (см. *Иерархичности принцип управления, Сложные системы*).

МНОЖИТЕЛЬНО-ДЕЛИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО (аналоговое) — см. *Перемножающее устройство.*

МНОЖИТЕЛЬНОЕ УСТРОЙСТВО С ПАРАЛЛЕЛЬНЫМИ КАНАЛАМИ ВЫЧИСЛЕНИЯ (parallel computing channel multiplier; multiplicateur à canaux de calcul parallèles; Multiplikationsanordnung mit parallelen Rechenkanälen) — множительное устройство (МУ), в к-ром для получения высокой статич. и динамич. точности объединены два или более МУ, отличающиеся принципами построения. В М. у. с п. к. в. один или каждый из сомножителей представляется суммой двух составляющих, а произведение образуется как сумма произведений отдельных составляющих. Осн. часть произведения получают на низкочастотных МУ с регулируемым коэфф. передачи, в к-рых обычно используются схемы с цифровой следящей системой (ЦСС). Для расширения полосы пропускания емкость счетчиков в ЦСС значительно уменьшают, а возросшую при этом систематич. погрешность учитывают менее точным (грубым), но широкополосным МУ. Статич. точность М. у. с п. к. в. составляет 0,01—0,1%, а полосу пропускания можно довести до полосы пропускания операц. усилителя. М. у. с п. к. в. реализованы в трех модификациях: грубо-точные [1], с нелинейной передаточной ф-цией и трехканальные [2]. В грубо-точном МУ (рис. 1,*а*) произведение образуется в виде суммы

$$U_z = U_{z_1} + U_{z_2} = \frac{U_y U_x^*}{U_0} + \left[\frac{k\,(U_x - U_x^*)\,U_y}{U_0} + \right.$$

$$\left. + \Delta\,(U_z)\right]\frac{1}{k} = \frac{U_x U_y}{U_0} + \frac{\Delta\,(U_z)}{k}.$$

Составляющая произведения U_{z_1} образуется с помощью ЦСС. Ошибка рассогласования ЦСС $U_x - U_x^*$, усиленная в k раз, умножается в широкополосном МУ на U_y, и полученное произведение делится на k. При этом погрешность $\Delta(U_z)$, вносимая широкополосным МУ

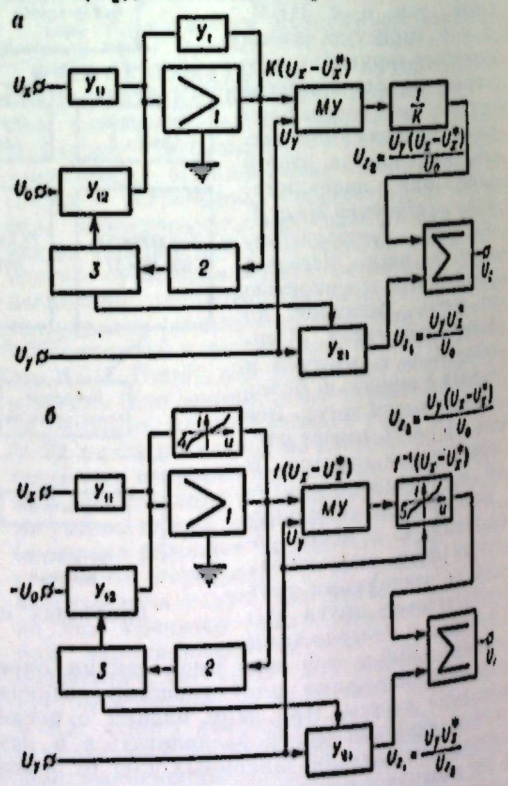


Рис. 1. а — Структурная схема грубо-точного множительного устройства; б — структурная схема множительного устройства с нелинейной передаточной ф-цией; *1* — решающий усилитель; *2* — устройство управления; *3* — реверсивный счетчик; *4*, *5* — нелинейные проводимости; y_{21} — управляемые проводимости.

входит в U_z ослабленной в k раз. Полоса пропускания грубо-точного МУ обычно определяется полосой пропускания ЦСС, т. к. за ее пределами разность $U_x - U_x^*$ возрастает, усилитель выходит за пределы линейности и широкополосное МУ также перестает функционировать.

МУ с нелинейной передаточной ф-цией строится по схеме грубо-точного МУ (рис. 1,*б*), коэфф. передачи усилителя *1*, в к-ром изменяется так, что при увеличении $U_x - U_x^*$ величина $k(U_x - U_x^*)$ остается в пределах линейности усилителя. С увеличением частоты входного сигнала k соответственно уменьшается, но при $k \leqslant 1$ погрешность широкополосного МУ уже не ослабляется, а усиливается. В этом один из недостатков схемы.

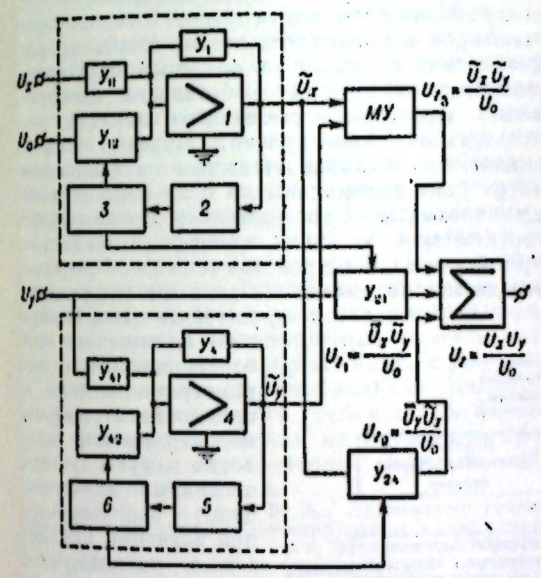


Рис. 2. Структурная схема трехканального множительного устройства: *1*, *4* — решающие усилители; *2*, *5* — устройства управления; *3*, *6* — реверсивные счетчики; y_{12}, y_{11}, y_{13}, y_{24} — управляемые проводимости; y_1, y_{11} — проводимости; Σ — сумматор.

В трехканальном МУ (рис. 2) ЦСС образуют грубо-точную двухканальную систему, но с одинаковым МУ в каждом из каналов. Третье МУ включается в работу, когда частотные спектры сигналов, представляющих каждый из сомножителей, выходит за пределы полосы пропускания ЦСС. Общая ф-ла умножения имеет вид

$$U_z = U_{z_1} + U_{z_2} + U_{z_3} = \frac{\bar{U}_x \bar{U}_y}{U_0} + \frac{\bar{U}_y \tilde{U}_x}{U_0} + \frac{\tilde{U}_x \bar{U}_y}{U_0};$$

здесь $\bar{U}_x$, $\bar{U}_y$ — низкочастотные и $\tilde{U}_x$, $\tilde{U}_y$ — высокочастотные составляющие U_x и U_y ($U_x = \bar{U}_x + \tilde{U}_x$, $U_y = \bar{U}_y + \tilde{U}_y$). Структурная статич. погрешность трехканального МУ равна произведению ошибок каждой из ЦСС и составляет U_0/n^2 (n — емкость счетчиков в ЦСС), тогда как для МУ с одной ЦСС она равна U_0/n. Поэтому суммарный объем оборудования (для двух ЦСС вместо одной) при той же точности не увеличивается, зато полоса пропускания каждой из ЦСС расширяется. По сравнению с вышеописанными трехканальное МУ при одинаковой статич. точности в 0,01—0,1% позволяет: 1) расширить полосу пропускания (по двум входам) до полосы пропускания высокочастотного МУ, причем полоса пропускания по каждому из входов не уже полосы пропускания операц. усилителя; 2) допускает расчленение на отдельные МУ без изменения их схем; 3) сохраняет работоспособность при выходе из строя одного или двух каналов (хотя и с большей погрешностью), что обеспечивает повышенную надежность.

Лит.: 1) Фицнер Л. Н., Прецизионное множительное звено, «АиТ», 1959, т. 20, № 1; 2) Маслов А. А., Трехканальное множительное устройство с разделением сигналов по частоте, там же, 1960, т. 21, № 12.

А. А. Маслов.

МОДЕЛИРОВАНИЕ (simulation; simulation; Modellierung) — исследования на моделях или на реальных установках с применением методов теории подобия при постановке и обработке экспериментов. Подобными наз. явления, у к-рых все процессы (полное подобие) или наиболее существенные при данном исследовании (неполное или локальное подобие) в любой момент времени и в любой точке пространства отличаются от соответственных параметров др. явления в определенное (постоянное в течение всего исследования) число раз, называемое масштабом. Частным случаем являются приближ. подобие, заведомо допускающее нек-рые количественно оцениваемые искажения. Признаками подобия и условиями установления его при реализации М. служит наличие численно одинаковых критериев подобия — отвлеч. чисел, содержащих комбинации значений физич. величин, участвующих в процессе (см. табл.).

Критерии электрического подобия

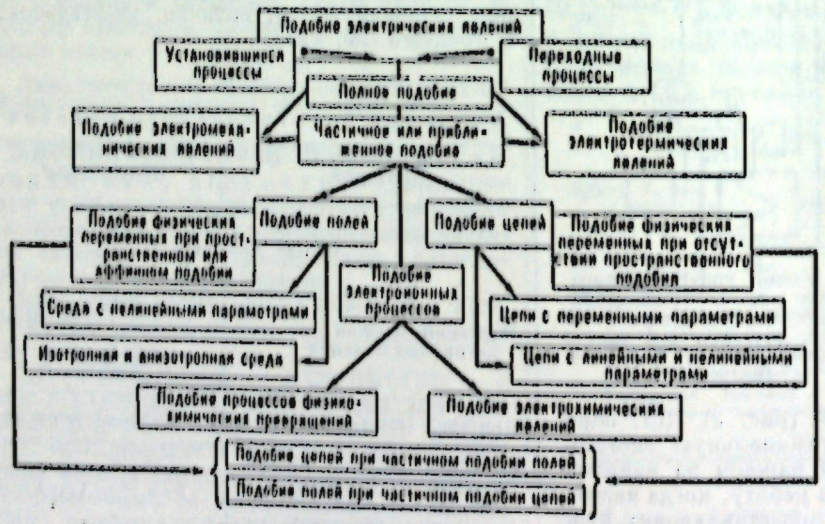
Критерии	Обозначения
Общие критерии	
Критерий подобия электромагнитных явлений	$\Pi_1 = \frac{\mu\gamma l^2}{t} = idem$; $\Pi_2 = \frac{\varepsilon}{\gamma t} = idem$
Критерий гомохронности	$[Ho] = \omega t = idem$
Критерий подобия процессов при нелинейных магнитных материалах (идентичность относительных хар-к)	$\mu_* = \frac{\mu}{\mu_k} = f\left(\frac{H}{H_k}\right) = idem$
Подобие цепей	$\Pi_{*La} = \frac{L_a}{R_a t} = idem$; $\Pi_{*Ca} = \frac{C_a}{Gt} = idem$
Подобие цепей со взаимоиндукцией при равных масштабах токов во взаимосвязанных цепях ($m_{(a)} \neq m_{(b)}$)	$\Pi_{*ab} = \frac{M_{ab}^2}{L_a L_b} = idem$ или $\Pi = \frac{M_{ab}^3}{R_a R_b} t^3 = idem$
Подобие цепей с взаимоиндукцией при одинаковом масштабе токов во взаимосвязанных цепях ($m_{(a)} = m_{(b)}$)	$T_{*ab} = \frac{M_{ab}}{R_a t} = idem$; $T_{*ab} = \frac{M_{ab}}{R_b t} = idem$
Электродинамическое подобие	$T_{*f} = \frac{Tf}{l} = idem$

Продолжение

Критерии	Обозначения
Частные критерии	
Дополнительные условия подобия цепей с распределенными параметрами	$R_0 G_0 l^2 = idem$
Критерий приближ. электромагнитного и электродинамич. подобия	$\frac{Tf}{T^2} = idem$
Критерий намагничивания ферромагнитных тел	$X = V\overline{\pi_1} = lV\overline{\gamma\mu'\omega} = idem$
Критерий электромагнитного подобия движущейся среды	$\operatorname{tg}\delta_m = \frac{\mu''}{\mu'} = idem$ $H = \gamma\mu v l/\nu_0 = 1$

Подобие явлений бывает физическое и математическое. В физически подобных явлениях все процессы (или основные для данного исследования) имеют одинаковую физич. природу. В математически подобных явлениях процессы имеют различную физич. природу, но описываются одинаковыми уравнениями. Наличие подобия в природе и возможности установления его при М. выявляется с помощью теории подобия, основывающейся на анализе размерности физич. величин или на анализе ур-ний.

При М. различают виды подобия по характеру процессов, играющих осн. роль в изучаемых явлениях: напр. кинематич. подобие (подобие скоростей и ускорений), электродинамич. подобие (подобие протекания электрич. и механич. процессов во времени), материальное подобие (подобие масс элементов системы). Виды подобия для электрич. явлений показаны на рис. Для задач электротехники и автоматики важны 2 вида подобия: **подобие цепей** — подобие установившихся режимов и переходных процессов в электрич. цепях (без подобия полей); **подобие полей** — подобие в распределении электрич., магнитных и тепловых и др. полей и пространстве, без подобия протекания процессов во времени.



Виды подобия электрических явлений.

Под моделями в широком смысле понимают сооружения, установки, устройства, комбинации элементов сооружения или сумму логич. представлений, воспроизводящих явления или группу явлений, подобных изучаемым. Они разделяются на следующие осн. группы: математич. модели, предназнач. для исследования явлений на установках, позволяющих реализовать математич. подобие; геометрич. модели или макеты, дающие только геометрич. подобие без отражения природы происходящих явлений; физич. модели — для исследования явлений на установках, сохраняющих подобие основных физич. процессов изучаемого явления.

Математич. модели реализуются в виде вычислит. машин и устройств прикой аналогии. Вычислит. машины воспроизводят заданное математич. описание исследуемого явления или процесса путем выполнения некоторой последовательности элементарных математич. операций с помощью отдельных решающих элементов, работающих одновременно, или одного решающего элемента, используемого многократно. Модели прямой аналогии, в отличие от вычислит. машин, не могут быть расчленены на отдельные решающие элементы. Они воспроизводят исходные соотношения в силу специфики явлений, протекающих в устройстве в целом. При этом всегда можно указать (в зависимости от принятой системы аналогий) однозначное соответствие между параметрами модели и оригинала. Примером моделей прямой аналогии могут служить пассивные электрич. цепи, используемые при изучении процессов в механических цепях.

Вычислит. машины в зависимости от способа представления в них исходных величин делятся на цифровые и аналоговые (см. *Цифровая вычислительная машина*, *Аналоговая вычислительная машина*). Последние также наз. моделями непрямой аналогии. К комбиниров. моделям, применяемым в электротехнике, относятся статич. модели электрич. систем (*расчетные столы*), являющиеся физич. моделями электрич. сетей (при заданных по величине и фазе ЭДС постоянных нагрузках). Установившиеся режимы сетей отражены на ней физически подобными процессами. При исследовании переходных процессов, производимом с помощью метода последовательных интервалов, статическая модель становится математич. моделью. Различаются статич. модели пером. тока, содержащие источники эдс пером. тока и цепи с полными сопротивлениями, и статич. модели пост. тока, в к-рых электрич. сети изображаются с помощью эдс и активных сопротивлений. К комбинированным установкам, сочетающим принципы физич. и математич. М., относятся анализаторы прочности, защиты подстанций и т. д.

Физич. модели электрич. систем, построенные при неполном М. и дающие подобие протекания во времени электрич. и электромеханич. процессов в электрич. машинах и сетях без подобия полей, наз. иногда динамич. моделями. Особенно крупные динамич. модели построены в СССР (МЭИ, ИЭМ, НИИПТ, ВНИИЭМ, ЛПИ), а также во Франции, Австрии, Англии, Германии. Для динамич. моделей сооружаются спец. электрич. машины и тр-ры, имеющие необычные для машин данной мощности и размеров параметры. Эти машины, воспроизводящие хар-ки машин большой мощности, наз. машинами-моделями.

Модели линий передач выполняются: а) геометрически подобными, б) физически подобными, с нарушением геометрич. подобия, в) цепочечными линиями-моделями, в виде ячеек, каждая из к-рых замещает опред. участок линии. В цепочечных схемах подобие распространения волн в пространстве носит условный характер; роль длины играет номер ячейки, скорость распространения определяется по ср. точке фронта волны (см. также *Автоматизация исследований*). Как при физическом, так и при математич. М. возникают погрешности трех видов: первичная погрешность — из-за расхождения между истинным значением к.-л. физич. величины в натуре и ее значением (расчетное значение), принятым для осуществления на модели; вторичная погрешность — из-за неточности воспроизведения на модели моделируемых величин (расчетных значений) и погрешностей, связанных с измерениями; принципиальная погрешность — из-за неполного учета в модели факторов, заведомо влияющих на изучаемые процессы, напр., обусловленных приближ. М. вместо точного, и т. д.

Лит.: Веников В. А., Применение теории подобия и физического моделирования в электротехнике, М.—Л., 1949; его же, Электромеханические переходные процессы в электрических системах, М.—Л., 1958; Веников В. А. и Веников-Смоленский А. В., Физическое моделирование электрических систем, М., 1950; Электродинамическое моделирование энергосистем, под ред. М. П. Костенко, М., 1950; Тетельбаум И. М., Электрическое моделирование, М., 1959. *И. А. Иванов.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПРИ НАЛИЧИИ ПОМЕХ (automatic system simulation in the presence of noise; simulation de systèmes automatiques en présence de bruit; Modellierung selbsttätiger Systeme unter Berücksichtigung des Rauschens) — осуществляется двумя осн. методами: расчетным и методом статистич. испытаний (см. *Монте-Карло метод*). В расчетном методе вместо отдельных случайных реализаций помехи при моделировании используются ее вероятностные хар-ки. Цель моделирования — в получении вероятностных хар-к выходного сигнала в автоматич. системе. Математич. ожидание $a_y(t)$ и корреляц. ф-ция $R_y(t, t')$ для выходного сигнала $Y(t)$ в линейной системе определяются по ф-лам:

$$a_y(t) = A_t a_X(\tau) \qquad (1)$$

$$R_y(t, t') = A_t A_{t'} R(\tau, \tau'), \qquad (2)$$

где A_t — линейный оператор, $a_X(\tau)$ — математич. ожидание, а $R(\tau, \tau')$ — корреляц. ф-ция помехи $X(\tau)$. Для вычислений по ф-лам (1) и (2) может применяться как АВМ, так и ЦВМ. В обоих случаях при определении $a_y(t)$ вместо помехи $X(\tau)$ в математич. машину вводится ф-ция $a_X(\tau)$. Ф-ция $R_y(t, t')$ определяется в два этапа. Сначала находится вспомогат. момент связи

$$\varrho(t, \tau') = A_t R(\tau, \tau'), \qquad (3)$$

для чего на вход машины подаются реализации ф-ции $R(\tau, \tau')$ для ряда значений τ'. После этого искомая корреляц. ф-ция $R_y(t, t')$ находится по ф-ле:

$$R_y(t, t') = A_t \varrho(t', \tau') = A_t A_{t'} R(\tau, \tau'), \qquad (4)$$

причем на вход машины подается ф-ция $\varrho(t', \tau')$ для ряда фиксиров. значений t'. Ф-лы (3) и (4) аналогичны по структуре, что позволяет использовать для вычислений по ним одну и ту же программу. В нелинейных системах для определения величин $a_y(t)$ и $R_y(t, t')$ необходимо задать помеху уже не с помощью отдельных вероятностных хар-к, а полностью, как случайную ф-цию. Обычно такое задание практически можно реализовать лишь приближенно. Задача существенно упрощается, если помеху можно представить в виде эквивалентной системы случайных величин с известными законами распределения. Тогда можно воспользоваться методом эквивалентных возмущений (см. *Аналоговая вычислительная машина применения*). Аналогичный метод можно применить и при моделировании ур-ний автоматич. системы на ЦВМ.

При использовании **метода статистич. испытаний** ур-ния автоматич. системы решаются с помощью математич. машины, к к-рой подключается источник помех. Выполняя многократное решение этих ур-ний, получают множество случайных реализаций исследуемого процесса, к-рое далее подвергается статистич. обработке. Источники случайных помех могут быть реальными или искусственными — физич. датчики либо спец. массивы случайных величин (обычно чисел). В физич. датчиках используется шумы, возникающие в радиотехнич. и других элементах, случайные выбросы радиоактивных частиц и т. д. В результате выделения сигналов, превосходящих определ. уровень, и их дальнейшего формирования получают последовательность равномерно распредел. чисел. Числа, получаемые из таблиц или же программным путем (т. н. псевдослучайные числа, см. *Псевдослучайных чисел метод*), тоже, как правило, выбираются распределенными равномерно. При использовании *датчиков случайных чисел* необходимо принимать спец. меры для поддержания равномерного распределения этих чисел, а при образовании псевдослучайных чисел — меры против вырождения их в последовательность неслучайных чисел. Множество $\{\eta\}$ равномерно распредел. случайных чисел далее преобразуется в множество $\{\xi\}$ чисел, обладающих заданной плотностью вероятности $y = f(x)$ с помощью соотношения

$$\eta = \int_{x=0}^{\xi} f(x)\,dx = F(\xi), \qquad (5)$$

где $F(\xi)$ — интегр. закон распределения чисел ξ. С помощью полученной последовательности случайных чисел находят затем случайные реализации входных помех, используемые при моделировании.

Лит.: Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 2 изд., М., 1960; Казаков И. Е., Доступов Б. Г., Статистическая динамика нелинейных автоматических систем, М., 1962; Бусленко Н. П., Шрейдер Ю. А., Метод статистических испытаний (Монте-Карло) и его реализация на цифровых вычислительных машинах, М., 1961; Бусленко Н. П. [и др.], Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло), М., 1962. *Б. Г. Доступов.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ БИОНИЧЕСКОЕ (bionical simulation; simulation bionique; bionikalische Modellierung) — воспроизведение в технических устройствах принципов функционирования живых организмов (см. *Бионика*). Предпосылкой М. б. является аналогия между биологич. и технич. кибернетич. системами: многие процессы и в тех и в др. системах сводятся к преобразованию получаемой информации в соотв. сигналы, накоплению сигналов, переработке их в команды и передаче исполнит. органам. См. *Моделирование условных рефлексов.*

Терминология в бионике еще не установилась. Иногда различают теоретич. и технич. бионику, понимая под первой математич. моделирование биологич. процессов, а создание электронных моделей этих процессов и использование их в технич. системах объединяют термином «техническая бионика». Часто между М. б. и технич. бионикой не делают различия.

Исследования в области М. б. развернулись широко. В США, напр., эти работы ведут ок. 70 крупнейших фирм и ин-тов. М. б. придают важное военное значение и многие исследования [1] в этой области финансируются военно-воздушными и военно-морскими силами США. С 1960 ежегодно проводятся нац. симпозиумы по бионике.

Проведенные исследования дают обширный материал, касающийся сбора информации живыми организмами. Большинство работ посвящено органам зрения, поскольку через них в живой организм поступает св. 90% информации. При этом изучаются: внутр. оболочка глаза, воспринимающая световые раздражения (ретина, или сетчатка); ф-ции нервных клеток, воспринимающих световые раздражения (фоторецепторов); процессы передачи энергии и обработки информации, торможение и растормаживание глазных нервов и т. д. Установлено, напр., что зрит. органы лягушки воспринимают лишь информацию, необходимую для самосохранения (защита от нападения, добыча пищи), и не воспринимают никаких др. световых раздражений. На основе этого принципа разработан прибор, наблюдающий за экраном радара в аэропорту. Установлены интересные особенности глаз мечехвоста, способных при наличии разных по интенсивности световых раздражителей усиливать контраст между ними. Изучается «мозаичное» зрение насекомых, облегчающее им передвижение по прямой. Глаз человека содержит около 130 млн. фоторецепторов и около 1 млн. нервных волокон, передающих раздражение мозгу. Информац. способности глаза человека характерны огромным диапазоном чувствительности: энергия в 5 квант достаточна для светового ощущения, в то же время возможно непосредств. восприятие глазом лучей солнца; глаз различает длину волн световых колебаний в диапазоне от 350 до 850 *ммк*. Глаза человека отличаются высокой помехоустойчивостью благодаря использованию методов дискретного двоичного кодирования информации; для обнаружения сигналов используются статистические методы [2].

Изучение органов слуха показало, что электрич. импульсы на входе слухового нерва человека кодируются и затем распределяются между волокнами слухового нерва. Слуховой орган моли воспринимает частоты от 10 *гц* до 10 *кгц* и сигнализирует о приближении летучих мышей на расстоянии до 30 *м*. При этом моль сама генерирует синхронизирующие сигналы, облегчающие ей декодирование [3]. Слуховой орган паука (находящийся на конце ноги) воспринимает частоты от 20 *гц* до 50 *кгц*: различные нервные волокна его слухового органа воспринимают различные частоты. Установлена высокая чувствительность и нек-рых др. информац. органов животных — напр., рыбы одного вида обнаруживают запах 10^{-14} *г* вещества, растворенного в 1 *л* [4].

Нек-рые бионич. исследования дают ценный материал для разработки новых идей в системах связи, обнаружения и навигации. Дальнейшее углубленное изучение ультразвукового локац. аппарата летучих мышей показало их высокую (близкую к теоретической) способность отделения своих сигналов от сигналов др. летучих мышей, что указывает путь усовершенствования средств защиты систем радиолокации от помех. Локац. аппарат летучих мышей обладает большой точностью и на несколько порядков превосходит радиолокац. системы по эффективности обнаружения [5].

Гидролокац. аппарат бурых дельфинов позволяет различать отдельные породы рыб на расстоянии до 3 *км* независимо от наличия помех. Частоты звуков, излучаемых дельфином, лежат в пределах от 50 *гц* до 300 *кгц*. Гидролокац. аппаратом обладают морские свинки. Частота посылаемых ими ультразвуковых сигналов достигает 196 *кгц*, что позволяет им находить в мутной воде кусочки пищи размером в 2,5 *мм*. Изучается (по заданию военно-морского флота США) механизм самонаведения акулы, воспринимающий звуки и вибрации [6]. Установлено наличие электролокац. аппарата у многих видов тропич. рыб.

Предметом исследования стали навигац. способность рыб и птиц, факты биологич. связи (одновременное изменение направления движения косяка рыб, нахождение самки самцом бабочки на расстоянии 10 *км* и др.).

Осн. работы в области М. б. относятся к моделированию нейрона и функции головного мозга (см. *Нейронов модель*, *Нервные сети*). Моделируются информац. органы. Создана (США) модель зрит. аппарата лягушки, состоящая из 7 фотоэлементов (фоторецепторов) и 1 модели нейрона. 6 периферийных фотоэлементов вырабатывают сигналы возбуждения, а седьмой, центральный — сигналы торможения. При отсутствии «насекомого» все 7 фотоэлементов освещены равномерно, выходные сигналы возбуждения и торможения компенсируются и сигнал на входе модели нейрона отсутствует. При появлении «насекомого» центр. фотоэлемент затемняется, его выходное напряжение падает, нейрон возбуждается.

В ФРГ разработана электронная модель уха человека в виде системы частотных фильтров, позволяющих объяснить восприятие звуков в широком диапазоне частот. Для изучения функционирования биологич. систем под воздействием периодически изменяющихся условий внешней среды создан электронный прибор-аналог «биологич. часов», содержащий мультивибратор, логич. схемы и ЭВМ. Период и фаза колебаний мультивибратора управляются сигналами чередования света и темноты.

Среди технич. систем, построенных на основе М. б., различают обучающиеся, адаптивные и необучающиеся. Обучающиеся технич. системы распознают образы (зрительные и звуковые) — см. *Обучающиеся машины* [7]. Имеется, напр., бионич. обучающаяся машина, предназнач. для быстрого распознавания объемных тел в форме шара, куба, пирамиды, эллипсоида. Машина содержит: объектив; модель ретины из 400 фотоэлементов, усилители сигналов фотоэлементов, выходы к-рых соединены со входами 9 логич. схем блока памяти; ассоциативный блок памяти, состоящий из 400 логич. схем; два ответных логич. устройства; цифровую логич. схему. При проецировании изображения на модель ретины сигналы, выработанные фотоэлементами и усиленные, поступают в блок памяти. Логич. схемы блока ассоциативной памяти, как и ответные логич. схемы, представляют собой дифференц. усилитель и катодный повторитель на транзисторе, на к-рый поступает несколько входных сигналов. Логич. схема либо вырабатывает импульс, либо нет. Выходные сигналы логич. схем блока ассоциативной памяти поступают на ответные логич. устройства. Комбинация включения или выключения выходов ответных схем позволяет определять форму распознаваемого объекта. Сигнал логич. схемы блока памяти усиливается или ослабляется на входе схемы в зависимости от того, способствует или не способствует он правильному решению задачи. Машина надежно действует при выходе из строя до 58 усилителей. Среди разнообразных возможных применений такой машины указывают на просмотр, анализ и отбор фотографий на искусств. спутниках для передачи на Землю.

Среди ряда разработанных и фактически применяемых адаптивных бионич. машин можно указать на самоприспосабливающийся фильтр для выделения сигналов произв. формы на фоне шумов, если заранее неизвестно, имеется ли сигнал на входе приемной системы [8]. Опубликованы сообщения о ряде разработок адаптивных автопилотов.

Необучающиеся бионич. машины служат гл. обр. для распознавания образов, напр. миниатюрная ЭВМ «Сьюткэйс» (США) на ПП, опознающая произносимые диктором цифры от 1 до 9. Машина содержит 100 транзисторов. Проводятся работы по созданию бионич. машин, работающих по программе, задаваемой голосом.

Лит.: 1) «Electronic News», 1960, № 221, 223; 2) Глезер В. Д., Цуккерман И. И., Информация и зрение, М.—Л., 1961; 3) «Electronic Design», 1961, № 19; 4) «Electronics», 1962, v. 35, № 7; 5) Гриффин Д. Р., Эхо в жизни людей и животных, пер. с англ., М., 1961; 6) «Popular Mechanics», 1962, v. 117, № 5; 7) Крайзмер Л. П., Бионика, М.—Л., 1962; 8) «ЗР», 1961, № 4. *Л. М. Беркович.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНЫХ СИСТЕМ на АВМ (pulse system simulation; simulation de systèmes à impulsions; Modellierung von Impulssystemen). *Импульсная система* состоит из непрерывной части и импульсного элемента, к-рый преобразует непрерывно изменяющийся сигнал на своем входе в последовательность модулированных импульсов. Соответственно модель такой системы состоит из модели непрерывной части и модели импульсного элемента, к-рую выполняют либо целиком из стандартных блоков АВМ, либо из АВМ со спец. приставкой. Моделирование линейной импульсной системы с АВМ

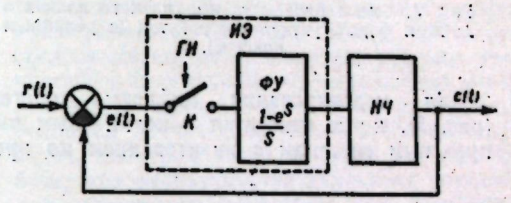


Рис. 1. Блок-схема линейной импульсной системы: *НЧ* — непрерывная часть.

возможно по схеме рис. 1. Для моделирования импульсного элемента *ИЭ* необходим генератор импульсов *ГИ*, ключ *К* и формирующее устройство *ФУ*, осуществляющее запоминание импульса на все время периода, так что на его выходе получается ступенчатая ф-ция. В качестве *ГИ* можно использовать любой генератор, напр. релаксац. типа, дающий короткие импульсы необходимой частоты, однако целесообразнее применить генератор, построенный на решающих усилителях АВМ. На рис. 2 дана схема *ГИ*, позволяющая получать прямоугольные импульсы, частоту и скважность к-рых можно изменять потенциометром $П_1$, сопротивлениями R_1 и R_2 и

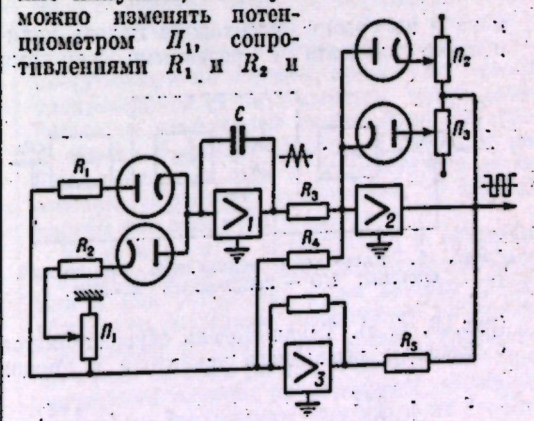


Рис. 2. Схема генератора прямоугольных импульсов на решающих усилителях.

емкостью *C*. Кроме прямоугольных, эта схема позволяет получить треугольные импульсы для моделирования импульсного элемента с широтной модуляцией. Импульсы генератора управляют ключом, который в зависимости от требуемой частоты может быть релейным или электронным. Ключ и формирующее устройство можно объединить в одну схему (рис. 3). В обмотку реле поступают импульсы от генератора. Постоянная времени R_2C определяет крутизну переднего фронта выходных импульсов. На рис. 4 дана аналогичная схема с использованием *ключа электронного*. Электронные ключи обладают большим быстродействием, но при отсутствии импульса неполностью раз-

мыкают цепь. Непрерывная часть системы набирается обычным способом с помощью стандартных решающих элементов.

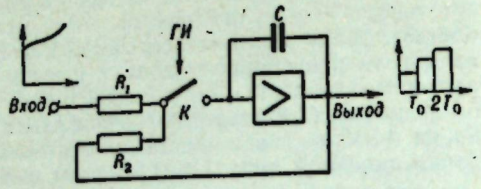


Рис. 3. Схема релейного импульсного элемента АИМ и формирующего устройства (с релейным ключом).

Для моделирования цифровых систем (рис. 5), к-рые относятся к нелинейным импульсным системам с квантованием по времени и по уровню, необходима модель нелинейного элемента с релейными хар-ками

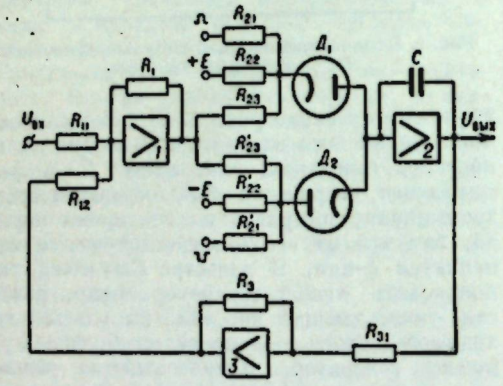


Рис. 4. Схема формирующего устройства с электронным ключом.

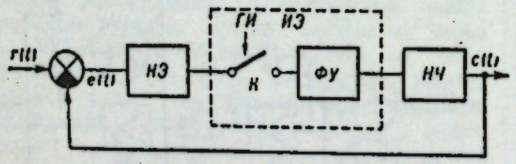


Рис. 5. Блок-схема нелинейной импульсной системы: *НЭ* — нелинейный элемент.

(рис. 6, *б*, *г*). Такая модель осуществляется с помощью решающего усилителя и диодов

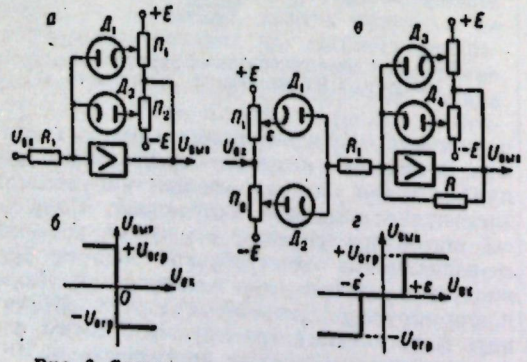


Рис. 6. Схемы нелинейного элемента с релейными характеристиками: *а*, *б* — идеальное реле; *в*, *г* — релейный элемент с зоной нечувствительности.

(рис. 6, *а*, *б*). Для М. и. с. необходимо использовать решающие усилители с малым дрейфом нулевого уровня, т. к. система бо́льшую часть времени разомкнута.

Лит.: Цыпкин Я. З., Теория импульсных систем, М., 1958; Шнайдман М. А., Моделирование импульсных систем автоматического регулирования, в кн.: Теория и применение дискретных автоматических систем. Тр. конференции 22—26 сентября 1958 г., М., 1960; Коган Б. Я., Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования, М., 1959; Ушаков В. Б., Инфранизкочастотная аппаратура для снятия динамических характеристик систем автоматического регулирования, в кн.: Труды II Всесоюзного совещания по теории автоматического регулирования, т. 3, М.—Л., 1955. *И. И. Картик.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЕ (mathematical simulation; simulation mathématique; mathematische Modellierung) — метод исследования физич. явлений с помощью спец. моделей, основанный на идентичности формы ур-ний и однозначности соотношений (ур-ний преобразования переменных) между переменными в ур-ниях оригинала и модели. См. *Моделирование*, *Моделирующее цифровое устройство*, *Аналоговая вычислительная машина*.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОЛЕЙ (электрическое) (field simulation; simulation de champs; Felder-Modellierung) — приборные методы решения краевых задач математич. физики путем измерения поля в модели, удовлетворяющей математич. описанию решаемой задачи. Для М. п. предпочитают электрич. устройства вследствие удобства измерений, задания краевых условий и изменения параметров. Используются два осн. метода: метод сплошных сред — непрерывного представления пространства, и метод электрич. сеток — дискретного представления пространства. По первому — моделью служит поле электрич. тока в сплошной проводящей среде, по второму — модель получается в виде электрич. сетки, основанной на представлении элементарных объемов моделируемого поля схемами замещения из элементов электрич. цепи. Метод сплошных сред в осн. используется для решения стационарных и квазистационарных краевых задач, удовлетворяющих ур-нию Лапласа $\nabla^2 u=0$. Модель выполняется из проводящего материала, проводимость к-рого значительно больше, чем у изоляторов, но значительно меньше, чем у металлич. проводников, используемых для задания граничных условий. В *электролитической ванне* проводящей средой служит электролит, залитый в форме моделируемой области. Применяются и твердые модели, полупроводящие пластины и покрытия, гл. обр. электропроводная бумага.

Метод электрич. сеток (предложен в 1927 С. А. Гершгориным, СССР) существенно расширяет круг решаемых краевых задач. Эквивалентная схема замещения выделенного из области элементарного объема, имеющего вид прямоугольного параллелепипеда Δx, Δy, Δz, дана на рис. *а*, *б*. В схеме фиксируется центр параллелепипеда — узловая точка, в к-рой производится измерение потенциала, а также центры граней, к-рым данный элементарный объем сопрягается с соседними объемами так, что образуется единая цепь — электрич. сетка. Все эти точки цепи модели приобретают геометрич. смысл, т. к. соответствуют определ. точкам моделируемой области, координаты к-рых заданы. Сопротивление элементов схемы замещения выбирается так, чтобы полное сопротивление

схемы по каждой оси было равно сопротивлению между противолежащими гранями элементарного объема. Так, по оси x:

$$R_x=\frac{1}{\gamma_x}\cdot\frac{\Delta x}{\Delta y\cdot\Delta z},$$

где γ_x — уд. проводимость области по оси x. Электрич. сетка из элементов рис. *а*, моделирующая однородную область при большем

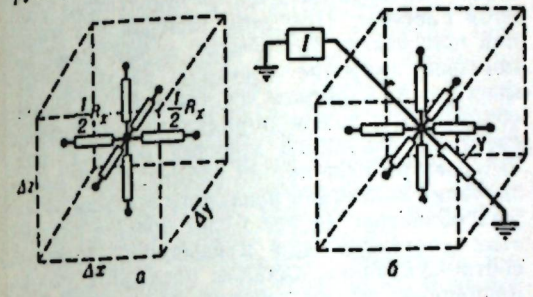


Схема замещения по методу электрич. сеток: *а* — элементарного объема прямоугольным параллелепипедом; *б* — поля, описываемого ур-ниями с правой частью.

числе узлов, удовлетворяет с достаточным приближением ур-нию Лапласа. Задав соответствующее распределение сопротивлений элементов, можно с помощью такой же сетки моделировать поля в неоднородных и анизотропных средах в соответствии с ур-нием более общего вида:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\gamma_x\frac{\partial u}{\partial x}\right)+\frac{\partial}{\partial y}\left(\gamma_y\frac{\partial u}{\partial y}\right)+\frac{\partial}{\partial z}\left(\gamma_z\frac{\partial u}{\partial z}\right)=0.$$

Наиболее же существенно, что с помощью электрич. сеток можно моделировать поля, описываемые ур-ниями с правой частью. Для элемента поля это означает $div(\gamma\ grad\ u)\neq 0$, а в изображающей его схеме замещения (рис. *б*) требуется включить новые элементы: источник тока (исток) I, или нагрузку (сток) Y. Если в узлы сетки включить источники тока в соответствии с нек-рой функцией распределения $\sigma(x, y, z)$, то такая сетка будет моделировать ур-ние Пуассона $\nabla^2 u=\frac{1}{\gamma}\sigma(x, y, z)$. Для решения двумерных краевых задач Лапласа и Пуассона разработаны электроинтеграторы (см. *Моделирующее электрическое сеточное устройство*). Выполнив стоки реостатной сетки из омич. сопротивлений, получим ур-ние вида $\nabla^2 u=a(x, y, z)\cdot u$, а при стоках в виде конденсаторов — уравнение Фурье $\nabla^2 u=b(x, y, z)\frac{du}{dt}$. Сетка из элементов индуктивности L с емкостными стоками C описывается волновым ур-нием:

$$\nabla^2 u=k(x, y, z)\frac{\partial^2 u}{\partial t^2}.$$

Применение реактивных элементов LC также расширяет возможности метода сеток. Так, если расположить в двумерной сетке по оси x элементы L, а по оси y элементы C, то получим на перем. токе фиксированной частоты электрич. сетку с сопротивлениями разных знаков для решения ур-ний гиперболич. типа:

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(b_x\frac{\partial u}{\partial x}\right)-\frac{\partial}{\partial y}\left(b_y\frac{\partial u}{\partial y}\right)=0$$

(в отличие от сетки из однородных сопротивлений, решающей эллиптич. ур-ния). Решение нестационарных краевых задач методом сеток (напр., ур-ния Фурье) требует более сложного оборудования. Поэтому важно иметь в виду, что простейшие реостатные сетки можно использовать и для исследования нестационарных процессов шаг за шагом, методом последоват. интервалов. Идея состоит в дискретном задании интервалов времени, как это сделано для элементов пространства.

Сопоставление метода сплошных сред и метода сеток показывает, что простота моделей, точность выполнения границ, удобство и точность снятия линий поля являются преимуществами первого. Метод сплошных сред также позволяет получить решение двумерной задачи Пуассона и реализовать метод последоват. интервалов. На электрич. сетках решается значительно более широкий круг задач. Электрич. сетки особенно удобны в работе, при необходимости изменения параметров моделируемой области или граничных условий для быстрого сопоставления многих вариантов.

Лит.: Тетельбаум И. М., Электрическое моделирование, М., 1959; Карплюс У., Моделирующие устройства для решения задач теории поля, пер. с англ., М., 1962. *И. М. Тетельбаум.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОГРАММНОЕ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ (real-time programme simulation; simulation à programme en échelle de temps réel; Programmodelierung im reellen Zeitmaßstab) — разновидность эксперимент. методов исследования работы сложных систем управлении. Применяются для: а) отработки алгоритмов, реализуемых системой управления; б) предварит. отладки сложных управляющих программ для проектируемых спец. машин с помощью универс. ЦВМ; в) определения параметров объектов, входящих в эту систему и производящих переработку оси. информации, поступающей по определ. временному закону распределения. Эти параметры могут относиться к пропускной способности каналов, к объему буферной памяти, к скорости работы различных схем и устройств, осуществляющих обработку информации, к хар-кам работы выходных устройств и т. д.

М. п. в р. м. в. применяется к системам, в к-рых имеются источник исходной информации и ряд устройств, к-рые должны успеть обработать исходную информацию за время, проходящее до появления новой информации на входе системы (напр., моделирование диспетчерской службы на аэродроме, обработка данных о положении спутника на орбите с целью внесения поправок в состояние управляющих приборов, моделирование работы автоматич. устройства, управляющего работой прокатного стана, и т. д.).

Связь объектов, осуществляющих переработку информации, определяется состоянием памяти каждого из объектов и изменением этого состояния, происходящим во время работы объекта. Работа любого объекта может быть представлена в виде последовательного выполнения дискретных элементарных шагов, удовлетворяющих двум условиям: а) характер шага определяется только состоянием объекта в момент начала шага и внешней информацией, поступившей в объект к этому моменту; б) в течение шага объект не выдает информации др. объектам (выдает только в конце шага). Дискретные шаги, вообще говоря, могут быть выделены в любых системах, в т. ч. и

в системах непрерывного действия, если учесть наличие переходных процессов, инерционность входных элементов и ограничения по точности работы.

При М. п. в р. м. в. процесс функционирования нескольких объектов должен быть развернут во времени в виде последовательности элементарных действий, относящихся к различным объектам.

Принципиально возможны два способа задания в программе временного режима работы моделируемой системы:

а) способ единого масштаба времени, при котором устанавливаются единая для всех объектов моделируемой системы единица приращения времени и единый счетчик времени. Процесс моделирования состоит в последовательном увеличении на единицу счетчика времени и расчете для каждого из фиксиров. моментов времени состояний объектов системы. При этом единица приращения времени должна быть достаточно малой, чтобы дискретность времени не вносила искажений в работу моделируемой системы. При наличии в системе объектов с различной степенью дискретности времени работы такой способ приводит к значит. увеличению объема вычислений и в то же время не позволяет избежать искажений в динамике моделируемого процесса;

б) способ индивидуальных масштабов времени, при к-ром для каждого объекта системы устанавливается свой счетчик реального времени. Процесс моделирования заключается в расчетах для каждого объекта его состояния путем последоват. увеличения времени на характерные для данного объекта интервалы. Этот способ позволяет независимо изменять масштабы времени для любого из объектов и поэтому моделировать эти объекты с достаточной степенью точности без чрезмерного увеличения объема вычислений.

Построение программы для моделирования в реальном масштабе времени работы сложной управляющей системы основывается на следующих трех осн. принципах:

1) работа каждого автономного объекта системы представляется дискретной последовательностью элементарных шагов и моделируется отдельной подпрограммой. Эта подпрограмма, помимо выполнения ф-ций по переработке информации, характерных для данного объекта, ведет учет реального времени его работы. Для каждого объекта устанавливается отдельный счетчик времени, к-рому последовательно прибавляются фактич. времена выполнения объектом отдельных элементарных шагов. Напр., моделируя работу одной программно-управляемой ЦВМ на др. машине, нужно после выполнения каждой команды первой машины с помощью ряда команд второй машины прибавлять к счетчику реального времени первой машины фактические времена выполнения этой команды первой машины;

2) синхронизация работы всех частных подпрограмм, моделирующих автономные объекты, осуществляется спец. синхронизирующей программой, к-рая периодически проверяет значения счетчиков реального времени всех объектов и включает в работу ту частную (подпрограмму, к-рая имеет миним. значение счетчика реального времени. Частная моделирующая подпрограмма воспроизводит очередной элементарный шаг работы данного объекта, прибавляет соответствующее приращение реального времени к своему счетчику и передает управление обратно синхронизирующей подпрограмме; последняя снова проверяет значение всех счетчиков реального времени, выбирает из них минимальный и т. д.

Процесс работы всей моделируемой системы воспроизводится в виде поочередного выполнения элементарных шагов отдельными объектами системы. При этом каждый раз очередной шаг делает тот объект, к-рый имеет наименьшее значение счетчика реального времени, т. е. наиболее «отставший» во времени объект. При таком порядке работы значение счетчика реального времени объекта, получающего разрешение на работу, будет меньше значений счетчиков реального времени остальных объектов, но оно будет больше значений этих счетчиков для предыдущих моментов, соответствующих началам последних уже выполненных этими объектами элементарных шагов;

3) каждый очередной шаг любого объекта должен производиться для момента времени, определенного значением счетчика времени при включении в работу данной частной моделирующей подпрограммы. Т. о., все выходные сигналы данного объекта и выдаваемая им во вне информация должны относиться к указ. моменту времени. Это означает, что каждый раз для каждого объекта моделируется предыдущий элементарный шаг, т. е. шаг, конец к-рого определяется значением счетчика реального времени в момент включения в работу данной подпрограммы.

При указ. способе обмена информацией между объектами каждый объект будет получать от др. объектов информацию не раньше и не позже, чем это имело бы место в реальных условиях, т. е. будет обеспечено соблюдение правильных причинно-временны́х зависимостей моделируемой системы.

М. п. в р. м. в. позволяет оценить временны́е хар-ки работы ЭВМ и др. объектов, входящих в состав сложных управляющих систем, что бывает необходимым при проектировании структуры этих систем. *А. И. Китов.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ на ЦВМ (industrial process simulation on digital computers; simulation de processus industriels sur calculateurs numériques; Modellierung von Produktionsvorgängen auf Ziffern-Rechenmaschinen). Подготовка к моделированию начинается с формального математич. описания (формализации) процесса и построения для него математич. модели — системы соотношений (напр., конечных или дифференц. ур-ний, неравенств, логич. условий, спец. операторов и т. д.), описывающих элементарные явления процесса и взаимодействие между ними с учетом осн. возмущающих факторов. Математич. модель служит исходным материалом для создания алгоритма, моделирующего исследуемый процесс. Этот алгоритм может быть записан в виде программы для той конкретной ЦВМ, при помощи к-рой предполагается проводить исследование процесса. Обычно для этой цели используются универс. ЦВМ. Машина выполняет последовательность операций, предписанную моделирующим алгоритмом. При этом шаг за шагом вырабатывается информация, характеризующая состояния элементарных явлений и процесса в целом, а также формируются величины, используемые в качестве результатов моделирования. Влияние случайных факторов на течение процесса имитируется при помощи случайных чисел с заданными или получаемыми в ходе моделирования законами распределения. Так же как и при натурном эксперименте, результаты каждой отдельной реализации процесса на ЦВМ отражают суммарный эффект совокупного действия возмущающих факторов с учетом конкретно сложившегося сочетания случайных возмущений. Поэтому они носят случайный характер и не могут служить объективной оценкой хар-к процесса. В качестве оценок для хар-к процесса необходимо использовать ср. значения соответствующих величин, полученные по результатам многих реализаций.

Исследование производств. процессов методом моделирования на ЦВМ имеет большое теоретич. и практич. значение. Оно позволяет, не прибегая к дорогостоящему натурному эксперименту, оценивать многие хар-ки проектируемых производств. процессов, решать разнообразные задачи, возникающие на стадии разработки, наладки и ввода в эксплуатацию сложного производств. оборудования, а также производить сравнит. оценку эффективности различных технологич. методов и вариантов структуры производств. комплексов.

Особое значение метод моделирования имеет для исследования разрабатываемых систем автоматизации управления произ-вом, т. к. он пока является единств. практически доступным методом оценки управляющих алгоритмов и структурных схем автоматизиров. управления.

Для проведения формализации производств. процесс обычно представляется в виде последовательности отдельных элементарных актов, совершаемых над полуфабрикатами. Состояние и св-ва полуфабриката могут быть описаны определ. количеством числовых параметров, в общем случае являющихся ф-циями времени. Напр., в случае изготовления некоторой детали из металлич. заготовки такими параметрами могут служить размеры заготовки, ее положение в пространстве, степень обработанности, иногда темп-ра и т. д.

В качестве элементарных актов производств. процесса, как правило, рассматриваются формализов. операции. Напр., под операцией обработки часто понимают такой элементарный акт, в результате к-рого хотя бы один из параметров полуфабриката изменяет свое значение. В операции сборки изделия предполагается участие не менее двух деталей: ведущей (сборный узел) и ведомых; в результате сборки ведущая деталь изменяет значение хотя бы одного из своих параметров; а ведомые — прекращают существование.

В итоге формализации элементарных актов производств. процесса должны быть построены операторы, определяющие преобразование параметров полуфабриката в результате реализации каждого акта. Для этой цели используются известные аналогии между механич., электрич., тепловыми и др. явлениями и соответствующие им математич. схемы. При этом учитывается широкий круг действующих факторов, характерных для моделируемого процесса, напр.: случайные отклонения в параметрах полуфабрикатов и интервалах времени, регламентирующих течение процесса (темп подачи деталей, длительность производств. операций, время подготовки оборудования к работе и т. д.), режим занятости оборудования (очереди заготовок, простои станков), случаи выхода оборудования из рабочего состояния (отказы, поломки, разладка, износ инструмента), причины появления брака, нарушения технологич. режимов, причины срыва производств. процесса и др. В общем случае характер формализации и вид математич. модели существенно зависят от типа производств. процесса, круга учитываемых факторов и целей моделирования.

Основой алгоритма, моделирующего данный производств. процесс, являются операторы, имитирующие элементарные акты процесса. Кроме них, моделирующий алгоритм содержит еще ряд операторов, обеспечивающих взаимодействие и синхронизацию элементарных актов, а также автоматич. воспроизведение реализаций исследуемого процесса.

Структуру моделирующего алгоритма можно понять на примере одного из практически важных классов процессов серийного произ-ва штучных изделий (напр., труб, часов, автомобилей и т. д.). Пусть формализов. схема исследуемого процесса сводится к следующему. Имеется линия сборки изделий, на к-рой осуществляется последовательно l сборочных операций. Ведущая деталь (№ 1) и ведомые детали (№№ 2, 3, ..., l) подаются на сборку от соответствующих линий обработки. Для простоты примем, что на каждой линии обработки выполняется только одна операция (изготовление детали, ее подготовка к установке на сборный узел, транспортировка готовой детали из склада и т. д.). Операция сборки № i над сборным узлом № j может начаться либо в момент t_{ij} (если очередная деталь № i имеется на линии сборки), либо в момент $t_{ik}^{(\text{дет})}$ поступления k-го экземпляра детали № i на линию сборки. Момент окончания сборочной операции $t_{ij}^{(\text{ок. сб})}$ определяется в зависимости от ее длительности $\tau_{ij}^{(\text{сб})}$.

Если сборочная операция не закончится к моменту t^*_{ij}, то сборка узла № j прекращается. Линия сборки работает синхронно: $t_{ij}=t_{i+1,j-1}$ (конвейер). Момент начала $t_{ik}^{(\text{н})}$ операции обработки k-й детали на линии № i совпадает либо с моментом $t_{ik}^{(\text{н})}$ поступления заготовки, либо с моментом $t_{ik}^{(\text{гот})}$ готовности линии № i к обработке k-й детали. Момент окончания обработки (в случае норм. течения процесса) $t_{ik}^{(\text{ок.обр})}$ определяется в зависимости от ее длительности $\tau_{ik}^{(\text{обр})}$. В процессе работы в момент $t_{ik}^{(\text{отк})}$ может отказать оборудование линии обработки. В этом случае происходит срыв операции обработки, и соответствующая заготовка исключается из рассмотрения, а оборудование линии ремонтируется в течение $\tau_{ik}^{(\text{рем})}$.

Если длительность работы $\Sigma\tau_{ik}^{(\text{обр})}$ оборудования достигает величины T, то требуется затратить $\tau_{ik}^{(\text{налад})}$ единиц времени на наладку оборудования. При выполнении обработки возможен брак с вероятностью $p_{ik}^{(\text{бр})}$; брако-

ванная деталь на сборку не поступает. В случае норм. течения процесса параметры α_{ikh} k-й заготовки для детали № i приобретают значения $\bar{\alpha}_{ikh}$, а оборудование линии № i требует времени $\tau_{ik}^{(\text{rot})}$ на подготовку к следующей операции. Готовая деталь транспортируется на сборку за время $\tau_{ik}^{(\text{тр})}$.

При моделировании описанного процесса исследуем N^* реализаций, длительность каждой из к-рых равна T. Обозначим: N — текущее значение количества реализаций; s — количество готовых изделий; ω — признак, равный 1, если в результате операции обработки на сборку поступает деталь, и 0 — в противном случае; $\theta_{ik+1}^{(\text{rot})}$ — время готовности линии № i к обработке заготовки № $k+1$ в том случае, если не производится наладка оборудования.

Для изображения моделирующего алгоритма потребуются операторы следующих типов: A_i — вычислительные, Φ_i — формирования различных величин (в т. ч. и случайных), K_i — счетчики для подсчета количества объектов (деталей, операций и т. д.), обладающих заданными свойствами, и P_l — логические. Передачу управления между операторами алгоритма обозначим следующим образом: запись $P_i^{\uparrow j}$ ($P_i^{\downarrow j}$) означает передачу управления от P_l к оператору № j в предположении, что условие, проверяемое P_i, выполнено (не выполнено). Запись $l, k, \ldots, m$ A_i означает, что к A_i передается управление от операторов №№ $l, k, \ldots, m$. Обозначение передачи управления оператору, непосредственно следующему за данным, опускается. Передача управления данному оператору от предыдущего изображается лишь в том случае, когда данному оператору передается управление от нескольких операторов.

Введем в рассмотрение операторы: вычислительные A_8, A_9, A_{15} (определение величин $t_{ij}^{\cdot}$, t_{ij} и $P_{ik}^{(\text{бр})}$ соответственно),

$$A_{12}\,(t_{ik}^{(\text{н})}=t_{ih}^{(\text{п})}),\quad A_{13}\,(t_{ik}^{(\text{н})}=t_{ik}^{(\text{rot})}),$$

$$A_{15}\,(t_{ik}^{(\text{ок. обр})}=t_{ik}^{(\text{н})}+\tau_{ik}^{(\text{обр})}),$$

$$A_{22}\,(\theta_{i,\,k+1}^{(\text{rot})}=t_{ik}^{(\text{ок.обр})}+\tau_{ik}^{(\text{rot})}),$$

$$A_{26}\,(\theta_{i,\,k+1}^{(\text{rot})}=t_{ik}^{(\text{отк})}+\tau_{ik}^{(\text{рем})}),\quad A_{27}\,(\textstyle\sum\tau_{ik}^{(\text{обр})}),$$

$$A_{29}\,(t_{i,\,k+1}^{(\text{rot})}=0_{i,\,k+1}^{(\text{rot})}),$$

$$A_{31}\,(t_{i,\,k+1}^{(\text{rot})}=0_{i,\,k+1}^{(\text{rot})}+\tau_{ik}^{(\text{налад})}),$$

$$A_{34}\,(t_{ik}^{(\text{дет})}=t_{ik}^{(\text{ок. обр})}+\tau_{ik}^{(\text{тр})}),$$

$$A_{37}\,(t_{ij}^{(\text{ок.сб})}=t_{ij}+\tau_{ij}^{(\text{сб})}),$$

$$A_{38}\,(t_{ij}^{(\text{ок. сб})}=t_{ik}^{(\text{дет})}+\tau_{ij}^{(\text{сб})}),$$

A_5 (обработка результатов моделирования), A_6 (выдача результатов); операторы формирования $\Phi_1\,(t_{1j})$, $\Phi_{10}\,(t_{ik}^{(\text{п})})$, $\Phi_{14}\,(\tau_{ik}^{(\text{обр})})$, $\Phi_{16}\,(t_{jk}^{(\text{отк})})$, $\Phi_{20}\,(\omega=1;\bar{\alpha}_{ikh})$, $\Phi_{21}\,(\tau_{ik}^{(\text{rot})})$, $\Phi_{25}\,(\tau_{ik}^{(\text{рем})})$, $\Phi_{30}\,(\tau_{ik}^{(\text{налад})})$, $\Phi_{33}\,(\tau_{ik}^{(\text{тр})})$, $\Phi_{35}\,(\tau_{ij}^{(\text{сб})})$;

счетчики $K_3(N+1)$, K_{23} ($\omega=0$; подсчет количества случаев брака), K_{24} ($\omega=0$; подсчет количества срывов обработки), K_{40} (подсчет количества изделий, прошедших i-ю операцию сборки), K_{41} $(i+1)$, K_{42} (подсчет количества срывов i-й операции сборки), K_{43} $(i=l+1)$, K_{44} $(s-1)$, K_{45} (подсчет количества s готовых изделий), K_{46} $(j+1;\ i=1)$; логические — для проверки условий $P_2(t_{1j}<T)$,

$$P_4\,(N<N^*),\quad P_7\,(i\leqslant l),$$

$$P_{11}\,(t_{ik}^{(\text{п})}<t_{ik}^{(\text{rot})}),\quad P_{17}\,(t_{ik}^{(\text{отк})}<t_{ik}^{(\text{ок.обр})}),$$

$$P_{19}\,(\xi<P_{ik}^{(\text{бр})}),$$

ξ — случайное число с равномерным распределением (0,1); $P_{28}\,(\sum\tau^{(\text{обр})}<\bar{T})$,

$$P_{32}\,(\omega>0),\quad P_{36}\,(t_{ik}^{(\text{дет})}<t_{ij}),\quad P_{39}\,(t_{ij}^{(\text{ок.сб})}<t_{ij}^{*}),$$

$Я$ — окончание вычислений.

Тогда операторная схема моделирующего алгоритма будет иметь вид:

$$^{41,44}\Phi_1 P_2^{\uparrow 7} K_3 P_4^{\uparrow 7} A_5 A_6 Я$$

$$^{2,4}P_{7\downarrow 45}\,^{7,46}A_8 A_9\,^{9,32}A_{10} P_{11}^{\uparrow 13} A_{12}^{14}\,^{11}A_{13}$$

$$^{12,13}\Phi_{14} A_{15} \Phi_{16} P_{17}^{\uparrow 24}$$

$$A_{18} P_{19}^{\uparrow 23} \Phi_{20} \Phi_{21}\,^{21,23} A_{22}^{27}\,^{19}K_{23}^{22}\,^{17}K_{24} \Phi_{25}$$

$$A_{26}\,^{22,26} A_{27} P_{28\downarrow 30} A_{29}^{32}\,^{28}\Phi_{30} A_{31}$$

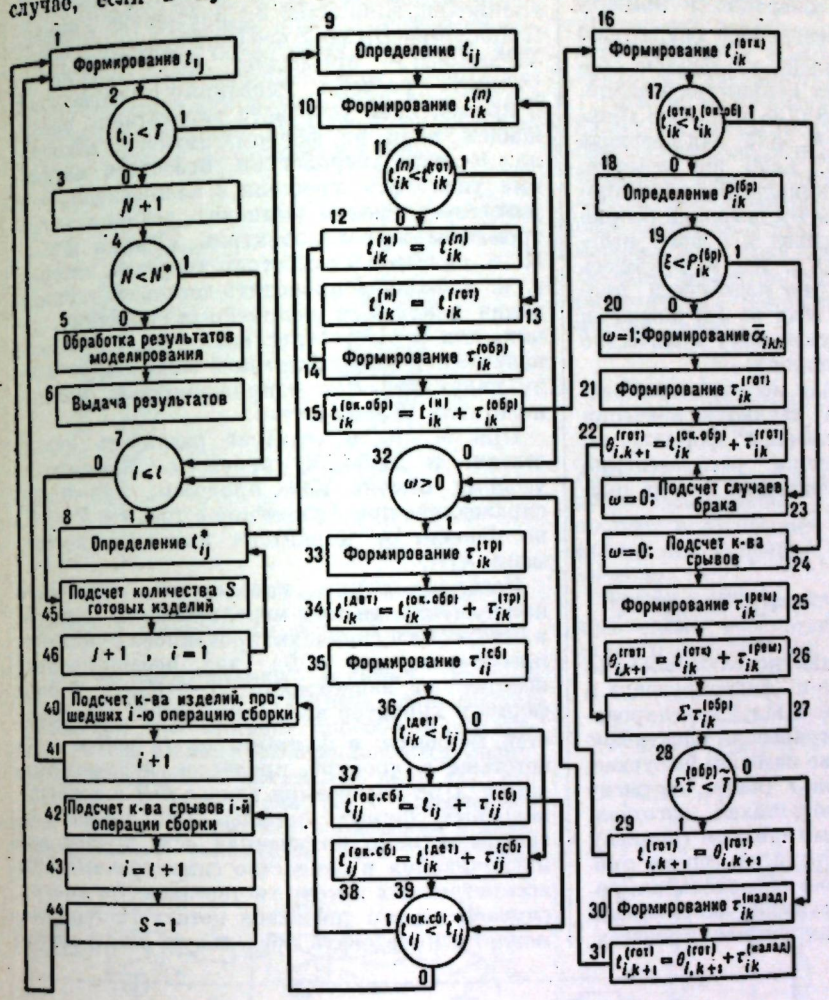
$$^{29,31}P_{32\downarrow 10}\Phi_{33} A_{34} \Phi_{35} P_{36\downarrow 38}$$

$$A_{37}^{39}\,^{36}A_{38} P_{39\downarrow 42} K_{40} K_{41}^{1}\,^{39}K_{42} K_{43} K_{44}^{1}\,^{7}K_{45} K_{46}^{1}.$$

На рис. изображена блок-схема моделирующего алгоритма, с помощью к-рой легко понять его структуру и порядок функционирования.

Функционирование алгоритма состоит в следующем. Оператор Φ_1 формирует момент t_{1j} начала сборки очередного изделия. Оператор P_2 проверяет условие $t_{1j}<T$. Предположим, что это условие не выполнено. Это означает, что интервал времени (от 0 до T) истек и моделирование данной реализации процесса должно быть прекращено. Управление передается оператору K_3, подсчитывающему количество реализаций, и далее, P_4 для проверки условия $N<N^*$. Если это условие не выполнено, значит нужное количество реализаций уже обследовано и можно прекратить моделирование. Поэтому управление передается операторам A_5 и далее A_6 для обработки и выдачи результатов моделирования.

Если же одно из условий $t_{1j}<T$ или $N<N^*$ окажется выполненным, моделирование продолжается и управление передается оператору P_7. Предположим, что условие $i\leqslant l$, проверяемое P_7, не выполнено. Это значит, что все сборочные операции над данным экземпляром изделия закончены. Тогда управление от P_7 по стрелке с индексом 0 передается оператору K_{45} для подсчета количества готовых изделий и, далее, K_{46} для перехода к первой ($i=1$) сборочной операции над очередным ($j+1$) изделием. Управление затем передается оператору A_8, к-рый определяет синхронизирующий момент $t_{ij}^{\cdot}$ окончания очередной сборочной операции, начальная, тем самым, моделирование собственно i-й сборочной операции для j-го изделия. Оператор A_9 определяет момент t_{ij} начала этой операции. Однако данная сборочная операция может пройти успешно лишь в том случае, если в нужное время окажется в



Блок-схема моделирующего алгоритма.

наличии соответствующая деталь. В связи с этим необходимо перейти к рассмотрению очередной операции изготовления (обработки) детали, под к-рой, в частном случае, может подразумеваться выборка детали из местного склада (если имеется задел). A_{10} определяет момент $t_{ik}^{(\text{п})}$ поступления k-го экземпляра заготовки i-го вида на линию обработки. В зависимости от результатов сравнения $t_{ik}^{(\text{п})}$ и $t_{ik}^{(\text{rot})}$ (оператор P_{11}) определяется момент $t_{ik}^{(\text{н})}$ начала операции обработки (операторы A_{12} и A_{13}). Операторы Φ_{14} и A_{15} определяют продолжительность $\tau_{ik}^{(\text{сбр})}$ и момент $t_{ik}^{(\text{ок.обр})}$ окончания обработки. Управление передается оператору Φ_{16} для формирования момента $t_{ik}^{(\text{отк})}$ отказа оборудования линии обработки. Если условие, проверяемое оператором P_{17}, выполнено, значит отказ наступил в течение операции обработки, и поэтому имеет место срыв обработки. Управление передается операторам K_{24} (подсчет количества срывов и выработка признака $\omega=0$, означающего, что данная деталь не может быть использована на сборке), Φ_{25} (формирование времени $\tau_{ik}^{(\text{рем})}$ ремонта) и A_{26} (определение момента $\theta_{i,k+1}^{(\text{rot})}$ готовности станка после ремонта). Предположим теперь, что условие, проверяемое P_{17}, не выполнено, т. е. срыв не наступает. Тогда A_{18} вычисляет вероятность $p_{ik}^{(\text{бр})}$ получения брака, а оператор P_{19} реализует жребий, при помощи которого с вероятностью $p_{ik}^{(\text{бр})}$ вырабатывается признак «брак». Если оператор P_{19} выработал признак «брак», то управление передается оператору K_{23} (подсчет количества случаев брака и выработка признака $\omega=0$) и, далее, A_{22}. Пусть теперь условие, проверяемое P_{19}, оказывается невыполненным — брака нет. Тогда оператор Φ_{20} определяет параметры детали $\bar{\alpha}_{ikh}$ после обработки и формирует признак $\omega=1$ — деталь может быть использована на сборке. Далее формируется время $\tau_{ik}^{(\text{rot})}$ подготовки станка к очередной операции обработки (Φ_{21}) и опять управление передается оператору A_{22} для определения момента $\theta_{i,k+1}^{(\text{rot})}$ готовности станка. Наконец, управление получает A_{27} (от A_{22} или A_{26}). Здесь подсчитывается суммарное время работы станка, от которого зависит момент очередной наладки оборудования. Если $\Sigma\tau^{(\text{обр})}$ еще не достигла $\bar{T}$ (условие, проверяемое оператором P_{28}, выполнено), определяется момент готовности станка (оператор A_{29}) и управление передается P_{32}. В противном случае ($\Sigma\tau^{(\text{обр})}\geqslant\bar{T}$) формируется длительность $\tau_{ik}^{(\text{налад})}$ наладки (Φ_{30}), другое значение момента готовности (A_{31}), и опять управление передается P_{32}.

Оператор P_{32} устанавливает факт годности детали для сборки. Если $\omega=0$, деталь не годна и управление передается A_{13}, — рассматривается обработка следующей $k+1$-й детали i-го вида. Если $\omega=1$, переходим к операции сборки (оператор Φ_{33}). Здесь формируется время $\tau_{ik}^{(\text{сб})}$ транспортировки детали к месту сборки, а также момент $t_{ik}^{(\text{дет})}$, начиная с к-рого деталь может участвовать в сборке (A_{34}), и продолжительность сборочной операции $\tau_{ij}^{(\text{сб})}$ (Φ_{35}). В зависимости от сравне-

ния величин $t_{ik}^{(дет)}$ и t_{ij} (оператор P_{36}) вырабатывается момент окончания $t_{ij}^{(ок.сб)}$ сборки (операторы A_{37} и A_{38}). Далее P_{39}, проверяя условие $t_{ij}^{(ок.сб)} < t_{ij}^{*}$, устанавливает, успевает ли закончиться сборочная операция к моменту t_{ij}^{*}. Если условие, проверяемое оператором P_{39}, выполнено, управление передается оператору K_{43}, для подсчета количества изделий, успешно прошедших через i-ю операцию сборки, и далее операторам K_{41} и Φ_1 для перехода к очередному изделию. Если же условие, проверяемое P_{39}, не выполнено, подсчитывается количество срывов i-й операции сборки (K_{42}) и совершается переход к новому изделию через операторы K_{42}, K_{41} и Φ_1. Здесь K_{42} формирует $i=i+1$ (нет надобности проводить сборку изделия, если на i-й операции случился срыв), а K_{44} уменьшает количество готовых изделий на единицу.

Исходными данными для исследования рассматриваемого процесса являются значения перечисленных при описании формализов. схемы параметров, законы распределения случайных величин (случайными иногда оказываются величины

$$t_{ik}^{(п)},\ \tau_{ik}^{(обр)},\ \tau_{ik}^{(тр)},$$

$$\tau_{ij}^{(сб)},\ t_{ik}^{(отк)},\ \bar{\alpha}_{ikh},\ \tau_{ik}^{(гот)},\ \tau_{ik}^{(рем)},\ \tau_{ik}^{(налад)}$$

и др.), а также соотношения, используемые для вычисления нек-рых хар-к, фигурирующих в математич. модели. В результате моделирования могут быть зарегистрированы следующие величины: ср. количество изделий, выпускаемых за интервал времени T (напр., за смену и т. д.), ср. количество деталей, изготовл. или обработанных каждым станком (линией), ср. количество случаев брака, ср. время производит. работы и простоев оборудования, ср. количество случаев нарушения нормальной работы оборудования или срывов процесса, ср. количество деталей в очереди перед каждым станком и ряд др.

В рассмотр. примере учитывались лишь те факторы, к-рые связаны с режимом взаимодействия операций по времени (типичная схема массового обслуживания). Метод моделирования в общем случае позволяет учитывать заведомо более широкий круг факторов и охватывать разнообразные процессы функционирования сложных систем, встречающиеся на практике.

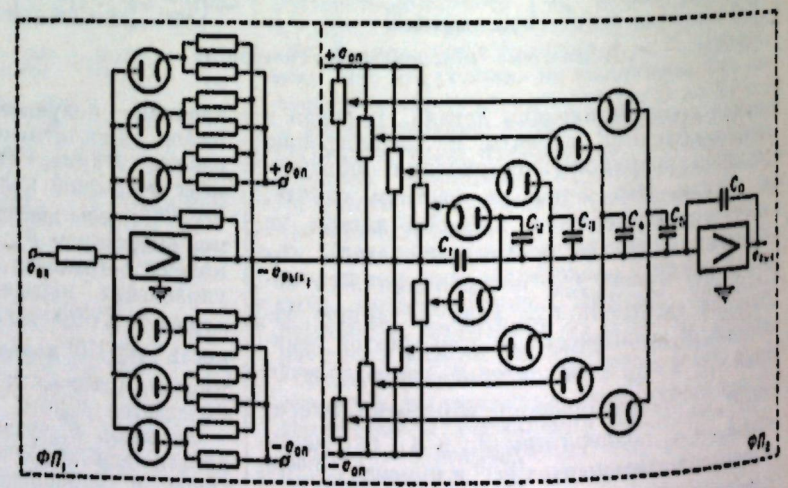


Рис. 1. Схема моделирования квазистатич. процессов перемагничивания на диодных функцион. преобразователях.

Лит.: Проблемы кибернетики, вып. 9, М., 1963; Буслен ко Н. П., Шрейдер Ю. А., Метод статистических испытаний (Монте-Карло) и его реализация на цифровых вычислительных машинах, М., 1961; Буслен ко Н. П. [и др.], Метод статистических испытаний (метод Монте-Карло), М., 1962; Башарин Г. П., Шваль б В. П., О моделировании действия коммутационных систем методом Монте-Карло на ЭЦВМ, «ИАН СССР. ОТН. Энергетика и автоматика», 1962, № 3; Климов Г. П., Алиев Г. А., Решение на вычислительных машинах одной задачи теории массового обслуживания методом Монте-Карло, «ЖВМ и МФ», 1961, № 5. *Н. П. Буслен ко.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕМАГНИЧИВАНИЯ ферромагнитных материалов (magnetization phenomenon simulation; simulation du phénomène d'aimantation; Modellierung des Ummagnetisierungs-Verhaltens) — преследует цель упростить и уточнить расчеты, связанные с разработкой и применением устройств автоматики, содержащих цепи из ферромагнитного материала. К этим устройствам относятся магнитные усилители, дроссели с насыщением, ферритовые элементы вычислит. техники, электромагнитные реле, электрич. машины и т. п. М. п. п. имеет и самостоят. теоретич. интерес, т. к. позволяет проводить детальное исследование явлений в нелинейных электрич. цепях, для к-рых точное аналитич. выражение нелинейной и неоднозначной зависимости между индукцией B и напряженностью магнитного поля H неизвестно.

При М. п. п. следует различать квазистатич. и динамич. процессы. Квазистатическими обычно наз. процессы, при к-рых справедливо предположение о том, что $B=f(H)$ не зависит от характера изменения во времени $H(t)$.

Воспроизведение квазистатич. процессов намагничивания при моделировании сводится к построению специализированного функцион. преобразователя ($\Phi\Pi$) для неоднозначной, нелинейной зависимости $B=f(H)$, у к-рого форма и характер воспроизводимых зависимостей меняется в функции от H и $\dot{H}$ в соответствии с логикой процессов перемагничивания. При построении такого $\Phi\Pi$ в качестве исходных данных должны быть заданы экспериментально полученная осн. кривая намагничивания и семейство симметричных или ассиметричных петель гистерезиса. Во многих случаях вместо семейства петель гистерезиса можно использовать предельную петлю гистерезиса и гипотезу о способах ее деформации при переходе к частным петлям.

На рис. 1 дана схема [1] для воспроизведения квазистатич. симметричных и несимметричных петель гистерезиса. В нее входит два последовательно соединенных $\Phi\Pi$ с кусочно-линейной аппроксимацией. $\Phi\Pi_1$ производит осн. кривую намагничивания, $\Phi\Pi_2$ — своеобразное функцион. ЗУ, воспроизводит предварит. петли гистерезиса, расположж. в области до колена кривой намагничивания. Расчет параметров $\Phi\Pi$ проводится графически методом последоват. приближений по заданным кривой намагничивания и предельной петле гистерезиса. На рис. 2 *а*, *б* соответственно приведены кривые петель гистерезиса для железо-никелевого сплава, экспериментально снятые и полученные в [1] с помощью приведенной схемы.

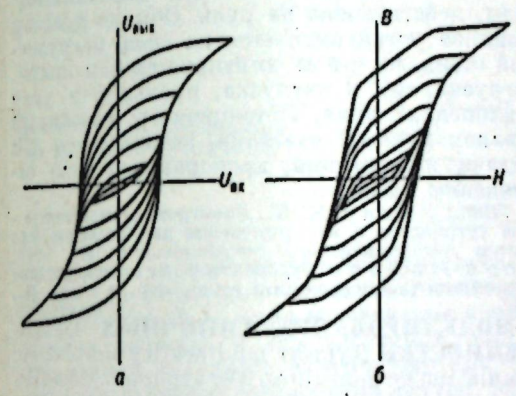


Рис. 2. Петли гистерезиса для железо-никелевого сплава: *а* — полученные экспериментально на образце; *б* — полученные путем моделирования.

При воспроизведении динамич. процессов намагничивания удобным оказывается применение комбиниров. способа моделирования, когда в схему АВМ включается физич. модель исследуемой магнитной цепи [2], [3].

На рис. 3 дана схема [2] с включением физич. модели магнитного сердечника в цепь, параллельную усилителю, для выделения

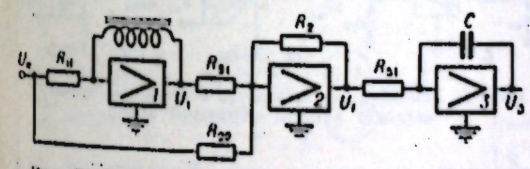


Рис. 3. Схема комбинированного моделирования.

напряжения, пропорционального B. Если предположить, что усилитель *1* имеет большой коэфф. усиления в разомкнутом состоянии, то его выходное напряжение будет

$$U_1 = -U_{вх}\frac{r_д}{R_{11}} + S_д w_д \frac{dB}{dt}. \qquad (1)$$

Здесь $U_{вх}$ — входное напряжение, представляющее исходную переменную H, $r_д$ — сопротивление обмотки дросселя, выбранного в качестве физич. модели, $w_д$ — число витков обмотки дросселя, $S_д$ — сечение магнитопровода дросселя. При этом напряжение на выходе сумматора *2*

$$U_2 = U_{вх}R_2\left(\frac{r_д}{R_{11}R_{21}} - \frac{1}{R_{22}}\right) - S_д w_д \frac{R_2}{R_{21}}\frac{dB}{dt}$$

$$\text{при } \frac{r_д}{R_{11}R_{21}} = \frac{1}{R_{22}}$$

$$\left.\begin{aligned} U_2 &= -S_д w_д \frac{R_2}{R_{21}}\frac{dB}{dt} \\ U_2 &= \frac{1}{R_{21}C}\frac{R_2}{R_{21}} S_д w_д B \end{aligned}\right\}. \qquad (2)$$

При таком способе моделирования при выборе физич. модели магнитопровода должны строго соблюдаться критерии подобия, а также равенство частот протекания процессов в оригинале и модели. Последнее требует применения широкополосных решающих усилителей, устойчивых при включении в цепь обратной связи элементов, обладающих существ. индуктивностью.

При моделировании процессов в разомкнутых магнитопроводах можно использовать способ комбинированного моделирования [3]. Сущность способа легко усмотреть из нижеследующего примера исследования переходных процессов в цепи возбуждения электрич. машины пост. тока. Пренебрегая размагничивающим эффектом потока реакции якоря и не учитывая ампер-витки компаундной обмотки, имеем:

$$\left.\begin{aligned} U_в &= i_в R_в + S_в w_в \frac{dB}{dt} \\ B &= f(Aw_в) \\ Aw_в &= i_в w_в \end{aligned}\right\}. \qquad (3)$$

Здесь $U_в$ — напряжение, прилож. к зажимам цепи возбуждения, $i_в$ — ток, протекающий по цепи возбуждения, $w_в$ — число витков обмотки возбуждения, $S_в$ — сечение магнитопровода.

При решении системы ур-ний (3) на АВМ необходимо воспроизводить обратную зависимость $Aw_в = f^{-1}(B)$. С этой целью (рис. 4)

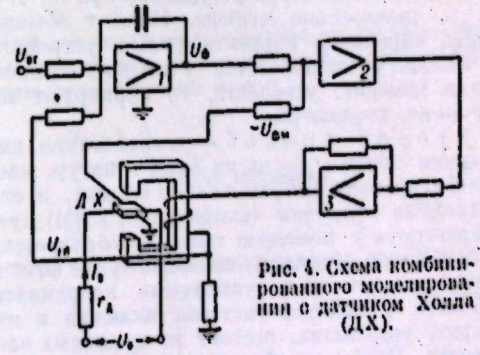


Рис. 4. Схема комбинированного моделирования с датчиком Холла (ДХ).

физич. модель магнитопровода включается в цепь отрицат. обратной связи решающего усилителя *2*. В воздушном зазоре магнитопровода физич. модели помещается датчик, основанный на эффекте Холла, для получения напряжения, пропорцион. потоку в зазоре.

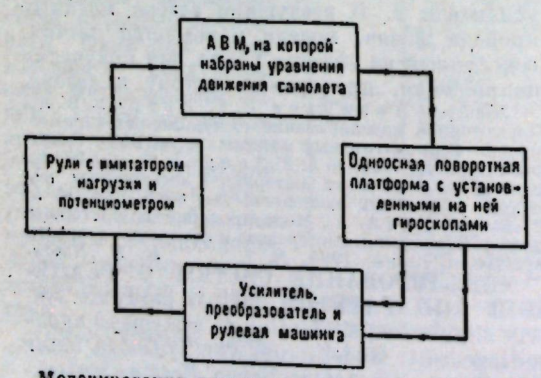
Лит.: 1) Васильев В. Г., Зверев В. А., Электронное моделирование гистерезисных характеристик ферромагнитных материалов, «ИВУЗ. Электромеханика», 1959, № 9; 2) Зверев В. А., Реальный ферромагнитный материал в электронных моделях магнитных элементов, там же, 1962, № 5; 3) Вавилов А. А., Моделирование генератора с учетом насыщения, гистерезиса и изменения скорости вращения, «Э-во», 1963, № 1. *Б. И. Коган.*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ С РЕАЛЬНОЙ АППАРАТУРОЙ (actual hardware system simulation; simulation de systèmes à appareillage réel; Modellierung von Systemen unter Benutzung der tatsächlichen Geräte, System-Modellierung mit der wirklichen Apparatur) — представляет собой переходный этап от исследования динамики системы на АВМ к натурным испытаниям. Имеются два способа М. с. с р. а. Первый способ — на АВМ в натуральном масштабе времени набираются ур-ния объекта и измерит. устройств. В качестве реальной аппаратуры применяются

корректирующие устройства, усилитель и исполнит. механизм с имитатором нагрузки. На пряжение (или ток), подаваемое на вход первого реального элемента системы от АВМ, должно быть не в относит. единицах, а в абсолютных. Крутизна выходной хар-ки и выходное сопротивление решающего элемента, с к-рого берется это напряжение, должны совпадать с аналогичными параметрами измерит. устройства. Т. к. выходное сопротивление операц. усилителя мало и менять его практически невозможно, равенство сопротивлений обычно обеспечивают добавлением катодных повторителей. Перемещение выходного вала исполнит. механизма преобразуется в электрич. напряжение и подается на АВМ. При этом необходимо, чтобы при перемещении выходного вала из одного крайнего положения в др. напряжение изменялось на величину $U_{ме}$, выбранную в качестве масштабной единицы при наборе ур-ний объекта АВМ (если в ур-нии объекта в качестве базовой величины для перемещения регулирующего органа выбрана величина перемещения его из ср. положения в одно из крайних, а не полное перемещение от упора до упора, то и при преобразовании перемещения выходного вала в напряжение последнее должно равняться $U_{ме}$ при переходе его из ср. положения в крайнее).

Методика исследования при М. с. с р. а. такая же, как и при моделировании без реальной аппаратуры. Однако возможностей изменения параметров регулятора при М. с. с р. а. значительно меньше. Меняют обычно лишь параметры корректирующих устройств и коэфф. усиления. Если учитывается динамика измерит. устройств, то варьируют их динамич. параметры.

Второй способ — исследование динамики системы, когда на АВМ в натур. масштабе времени набран только объект, а его выходные величины (напряжения АВМ) преобразуются с помощью спец. *преобразующих устройств* в величины, имеющие ту же физич. природу, что и регулируемые координаты объекта. Регулятор системы, включая и измерит. устройства, состоит из реальных элементов. Чтобы преобразующее устройство не вносило искажений, его полоса пропускания должна быть больше полосы пропускания



Моделирование продольного движения самолета с аппаратурой автопилота.

исследуемой системы. Жесткие требования в области рабочих частот предъявляются и к фазовой хар-ке преобразующего устройства.

На рис. для примера дана блок-схема моделирования продольного движения самолета с автопилотом. Выходные напряжения АВМ подаются на следящую систему, к-рая перемещает одноосную поворотную платформу т. о., чтобы поддерживать угол между плоскостью поворотной платформы и горизонт. направлением, равным углу тангажа. На поворотной платформе расположены гироскопы, выходные сигналы к-рых подаются на усилители и заставляют перемещаться выходной вал рулевой машинки. Последний воздействует на реальный руль или его имитатор, нагруж. пружинами, заменяющими для каждого значения скорости самолета аэродинамич. силы, действующие на руль. Обычно рулевая машинка устанавливается на спец. нагрузочный стенд, на к-ром имитируется как инерц. нагрузка, так и нагрузка, пропорцион. углу отклонения руля. Потенциометр, связанный с валом рулевой машинки, используется для выдачи напряжения, пропорционального отклонению руля.

Лит.: Коган Б. Я., Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования, М., 1959; Корн Г. и Корн Т., Электронные моделирующие устройства (на постоянном токе), пер. с англ., М., 1955.

В. Б. Рутковский.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТИПИЧНЫХ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ (typical nonlinearity simulation; simulation de non-linéarités typiques; Modellierung typischer Nichtlinearitäten) — воспроизведение нелинейных хар-к, типичных для САР (сухое трение, зона нечувствительности, ограничение координат, скоростей и ускорений по модулю, зазоры в передачах и т. п.), методами

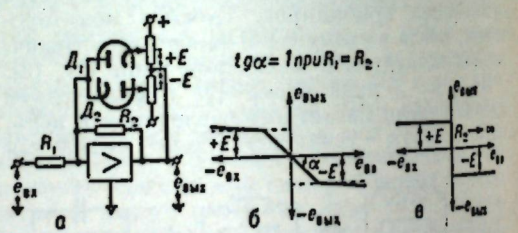


Рис. 1. Решающий усилитель с диодным ограничителем в цепи обратной связи.

электрич. моделирования. Характерное для М. т. н. скачкообразное изменение величины или ее производной приводит к необходимости построения схем, использующих сочетание операц. усилителей с диодными элементами или электромеханич. реле. Так, при воспроизведении хар-ки ограничения координаты по модулю два диодных элемента включаются в цепь обратной связи операц. усилителя (рис. 1, *а*). При достижении выходным напряжением значения $+E$ или $-E$ диоды $Д_1$ или $Д_2$ открываются, обеспечивая скачкообразное изменение коэфф. передачи усилителя (рис. 1, *б*). Увеличение сопротивления цепи обратной связи усилителя (R_2) приводит к приближению характера изменения выходного напряжения к хар-ке сухого трения (рис. 1, *в*). Воспроизведение хар-к зоны нечувствительности обеспечивается последоват. включением диодных элементов и операц. усилителя (рис. 2, *а*). Диодный элемент воспроизводит собственно зону нечувствительности, а операц. усилитель — коэфф. передачи системы. При увеличении коэфф. передачи операц. усилителя хар-ка зоны нечувствительности приближается к хар-ке реле с коэфф. возврата, равным единице (рис. 2, *а* и *б*).

Моделирование зазоров (люфтов) в передачах требует построения схемы, содержащей элементы воспроизведения зоны нечувствительности и сохранения значения выходной координаты при устранении зазора в передаче. Простейший вариант схемы подобного типа

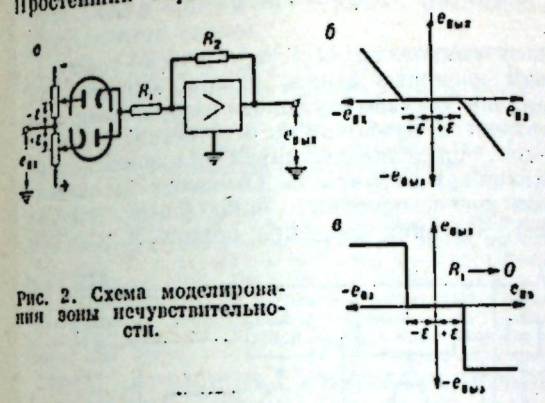


Рис. 2. Схема моделирования зоны нечувствительности.

дан на рис. 3, *а*, где диодные элементы используются для образования зоны нечувствительности, усилитель *1* — для образования коэфф. передачи системы, а конденсатор C_2 — для запоминания выходного напряжения при отключении входного напряжения внутри зоны нечувствительности. Усилитель *2* является выходным усилителем. В схеме рис. 3, *б* используется отрицат. обратная связь для увеличения точности воспроизведения. Усилитель *1* является нуль-органом, сравнивающим

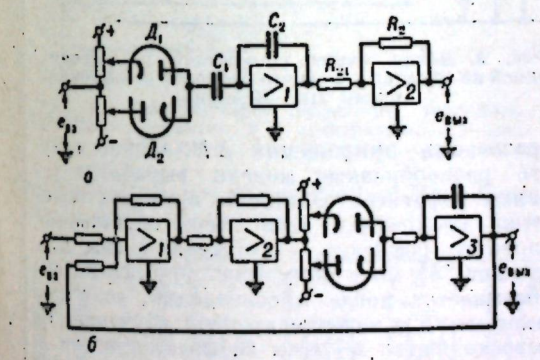


Рис 3. Схемы моделирования зазоров в передаче.

входное и выходное напряжения; усилитель *2* — усилителем перемены знака, а усилитель *3* служит для запоминания выходного напряжения при работе в зоне нечувствительности, определяемой диодными элементами, аналогичными диодным элементам более простой схемы.

Лит.: Коган Б. Я., Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования, М., 1959, гл. 12.

И. М. Витенберг.

МОДЕЛИРОВАНИЕ УСЛОВНЫХ РЕФЛЕКСОВ (simulation of conditioned reflexes; simulation de reflexes conventionelles; Modelierung von bedingten Reflexen) — искусств. образование в технич. системах и моделях временных функцион. связей, аналогичных условным рефлексам живых организмов.

Формализов. схему условного рефлекса, следуя А. А. Ляпунову [2], можно изобразить следующим образом. Пусть a, b — нек-рые раздражители и A — нек-рая реакция. Если a — безусловный раздражитель, всегда вызывающий реакцию A, то связь между ними (безусловный рефлекс) можно представить следующей схемой:

$$a \longrightarrow A.$$

Если раздражитель b нейтрален по отношению к реакции A, то его действие не вызывает A, т. е.

$$b \not\longrightarrow A.$$

Т. о., до формирования условного рефлекса имеем:

$$\begin{array}{l} a \longrightarrow A \\ a \longrightarrow A \\ b \not\longrightarrow A \\ a \longrightarrow A \\ b \not\longrightarrow A \\ \ldots \end{array}$$

Для образования условного рефлекса будем одновременно воздействовать обоими раздражителями a и b.

$$\begin{array}{ll} ab \longrightarrow A & \\ ab \longrightarrow A & \text{Процесс выработки} \\ \ldots & \text{условного рефлекса.} \end{array}$$

После достаточно большого числа повторений получим:

$$\begin{array}{ll} b \longrightarrow A & \\ b \longrightarrow A & \text{Условный рефлекс} \\ & \text{выработан.} \end{array}$$

Для подкрепления рефлекса необходимо, чтобы воздействие b перемежалось с одновременным воздействием a и b.

$$\begin{array}{ll} ab \longrightarrow A & \\ ab \longrightarrow A & \\ b \longrightarrow A & \text{Подкрепление.} \\ ab \longrightarrow A & \end{array}$$

При отсутствии подкрепления рефлекс угасает:

$$\left.\begin{array}{l} b \longrightarrow A \\ b \longrightarrow A \\ \ldots \\ \ldots \\ b \longrightarrow A \\ b \not\longrightarrow A \\ b \not\longrightarrow A \\ b \longrightarrow A \\ a \longrightarrow A \\ \ldots\ldots \\ b \not\longrightarrow A \\ b \not\longrightarrow A \\ b \not\longrightarrow A \end{array}\right\} \begin{array}{l} \text{Угасание рефлекса.} \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \\ \text{Рефлекс угас.} \end{array}$$

Привед. схема может рассматриваться как формализованное определение условного рефлекса и может быть воспроизведена с помощью различных технич. средств. В основе всех устройств, функционирующих по описанной схеме, лежит элемент памяти, запоминающий одновременное появление раздражителей a и b, реакции A и управляющий механизмом их отождествления по отношению к этой реакции. Функцион. схема устройств, моделирующих образование условных реф-

лексов, может иметь две модификации (рис. *а* и *б*). Отличие этих модификаций состоит в том, что в первой накопит. устройство *П* запоминает факты одновременного появления раздражителей *a* и *b*, а во второй — одновременного появления реакции *A* и условного раздражителя *b*.

Таким образом, М.у.р. сводится к технич. реализации одной из перечисл. схем или их комбинаций. Существует много различных моделей условного рефлекса, отличающихся внешним оформлением, характером реакции *A* и главное логич. структурой и технич. оформлением ЗУ *П*. В простейших моделях (механич. черепахах, жуках и т. п.) элемент памяти выполняется обычно в виде термореле или контура *R—C* с большой постоянной времени разряда и малой постоянной времени заряда. В моменты одноврем. появления условного и безусловного раздражителей осуществляется быстрая подпитка накопителя энергией. Когда уровень запасенной энергии (темп-ра, напряжение) превысит нек-рый порог, система *П* сработает и «условный рефлекс» окажется выработанным. В результате остывания (разряда) уровень понижается и, когда он оказывается меньше порога, «условный рефлекс» затухает. График работы такого элемента памяти приведен на рис. 2.

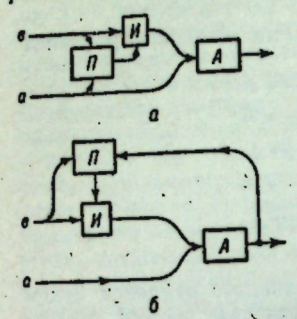


Рис. 1. *а* и *б* — Функцион. схема устройств, моделирующих образование условных рефлексов.

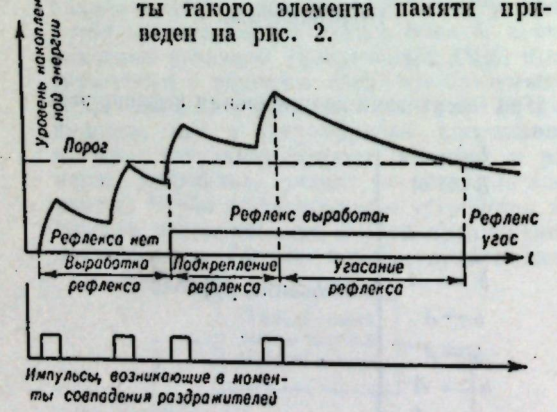


Рис. 2. График работы простейшего элемента памяти.

Более сложными моделями условных рефлексов являются модели с дискретным временем, реализуемые обычно с помощью вычислит. машин. В этих моделях предполагается, что состояния раздражителей, реакций и самой модели могут изменяться только в дискретные моменты времени. Введение дискретного времени позволяет записать формальную схему условного рефлекса в виде следующей системы соотношений:

$$A(n)=a(n)\vee b(n)\,P(N_n),$$

где

$$P(N)=\begin{cases}1, & \text{при } N\geqslant K\\ 0, & \text{при } N<K,\end{cases}$$

$$N_n=N_{n-1}-\Delta N_n,$$

где (1)

$$\Delta N_n=\begin{cases}+\varphi(N_{n-1}), & \text{при } a(n-1)\,b(n-1)=1\\ -\psi(N_{n-1}), & \text{при } a(n-1)\,b(n-1)=0\end{cases}$$

$$\varphi(N);\quad \psi(N)\geqslant 0 \text{ и } \varphi(N)\geqslant\psi(N).$$

Здесь символами $A(n)$, $a(n)$ и $b(n)$ представлены двоичные ф-ции, равные единице при наличии соответствующего раздражения или реакции и нулю при их отсутствии, φ и ψ — ф-ции, определяющие характер процесса запоминания и забывания. Символом $\vee$ обозначена логич. операция «или» (логич. сложение). Изменяя значение порога K и закон

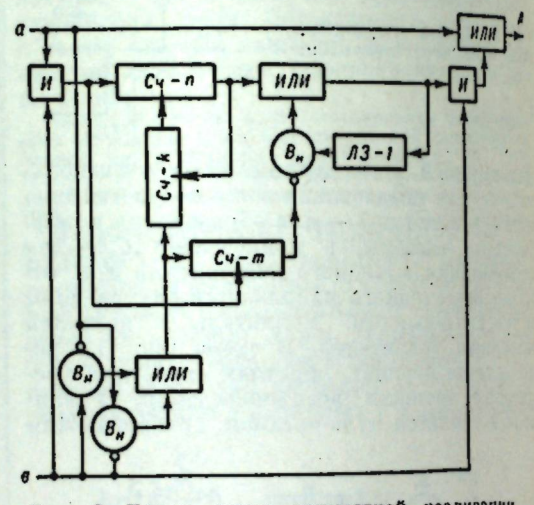


Рис. 3. Логич. схема конкретной реализации одной из моделей условного рефлекса (обобщение схемы Дж. Неймана).

образования приращения ΔN, можно получать разнообразные модели выработки условных рефлексов. Одним из примеров конкретной реализации этой схемы образования условного рефлекса — обобщение схемы Дж. Неймана [8], по к-рому (рис. 3) рефлекс вырабатывается после n совпадений, если они имеют место в течение времени обучения, не превосходящего $n+k$, и забывается после m последоват. несовпадений.

Представляют интерес также комбинированные системы моделей условных рефлексов, когда устройство может выбирать одну из нескольких возможных реакций — например программа, описанная Эттингером [3,4], с помощью к-рой на вычислит. машине может быть произвольно выработан условный рефлекс, представляющий собой одну из пяти возможных ответных реакций. Программа Эттингера реализует соотношения (1) с изменениями, заключающимися в том, что ф-ции N_n вычисляются для каждой ответной реакции и фактически выполняется та реакция, для к-рой соответствующее значение N_n оказывается в данный момент наибольшим. Интересной особенностью этой программы является также добавление к приращениям ΔN_n случайных составляющих, играющих роль случайных помех при образовании рефлекса. Др. пример комбиниров. модели — «обучающаяся матрица» Штайнбуха [7], у к-рой условные связи между соответствующими раздражениями и реакциями образуются по схеме рис. 2.

М. у. р. может широко использоваться при изучении механизмов биологич. условных рефлексов, для построения несложных автоматич. систем с самонастройкой, для изучения различных систем и моделей памяти. Модели условных рефлексов являются также простейшим примером технич. реализации обучающихся систем.

Лит.: 1) Павлов И. П., Полное собрание сочинений, 2 изд., т. 3, кн. 1, М., 1951; 2) Ляпунов А. А., О некоторых общих вопросах кибернетики, сб.: Проблемы кибернетики, вып. 1, М., 1958, с. 5—22; 3) Обучение цифровой вычислительной машины, «УМН», 1956, т. 11, вып.5(71), с.153—60; 4) Oettinger A. G., Programming a digital computer to learn, «Philos. Mag.», 1952, v. 43, № 347, p. 1243—63; 5) Гаазе-Рапопорт М. Г., Автоматы и живые организмы, М., 1961; 6) Иванов А. З. [и др.], Обучающиеся системы управления, «Тр. Моск. энерг. ин-та», 1962, вып. 44, с. 47—156; 7) Штайнбух К., Обучаемая матрица, «ЗР», 1962, № 1, с. 28—46; 8) Нейман Дж., Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонент, в сб.: Автоматы, под ред. К. Э. Шеннона и Дж. Маккарти, пер. с англ., М., 1956.

М. Г. Гаазе-Рапопорт.

МОДЕЛИРУЮЩЕЕ ПНЕВМАТИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО (pneumatic simulator; simulateur pneumatique; pneumatisches Modelliergerät) — АВМ, построенная из отдельных пневматич. счетно-решающих блоков непрерывного действия, предназначенная для решения дифференц. ур-ний. М. п. у. позволяют исследовать системы автоматич. регулирования в натуральном и в измененном масштабах времени. Примерами М. п. у. являются установка, разработанная в ЦНИИКА (типа ПВМ), и установка, разработанная инж. Фернером (ГДР). ПВМ построена по блочному принципу, каждый блок предназначен для решения линейного дифференц. ур-ния 3-го порядка. В комплект входят четыре блока. Каждый блок (рис. 1) содержит три *интегратора пневматических 2* и сумматор пневматический *1*. На рис. 1 показана схема соединений элементов блока для решения ур-ния вида $a\,y'''+a_1y''+a\,y'+a_3y=f(t)$ (при нулевых начальных условиях). Для каждого интегратора показан коэфф. усиления $K=a_i/a_{i-1}=1/T$ (T — пост. времени интегратора). Нач. уровень давления p_y задается подачей этого давления в линию между дросселем и детектирующим звеном интегратора. Давление p_y устанавливается редуктором *4*. При положении «стоп» ключа *5* управляющий сигнал на клапаны *3* не поступает и давление p_y проходит к интеграторам. При повороте ключа в положение «пуск» клапаны *3* закрываются, и модель начинает работать. Возмущающий сигнал $f(t)$ подается на сумматор *1*. Для установки ненулевых нач. условий служат задатчики *6*. Ко всем блокам подается давление питания $p_{пит}=1{,}4$ *ати*. Выходной сигнал модели может регистрироваться непосредственно на пневматич. регистрирующих приборах или через преобразователи на электронных. Установка Фернера приспособлена для решения более узкого класса задач, чем установка типа ПВМ, в основном для моделирования различных цепей регулирования, содержащих пропорциональные П, интегральные И, пропорц.-интегральные ПИ, пропорц.-интегрально-дифференц. ПИД и др. типы пневматических регуляторов и объекты, образованные цепочкой инерционных звеньев. Благодаря такой целенаправленности для набора схемы цепи регулирования в модели предусмотрены решающие звенья, представляющие собой отдельные узлы регулятора, объекта и др. Схема основных вычислит. элементов установки приведена на рис. 2. Модель содержит также два ручных задатчика, пневматич. синусдатчик и два самописца для записи изменения во времени вход-

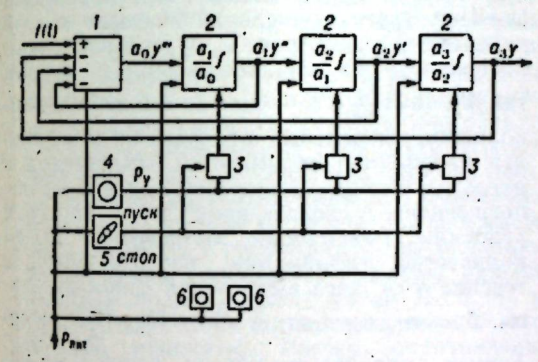


Рис. 1. Моделирующее пневматич. устройство ПВМ: *1* — сумматор; *2* — интеграторы; *3* — клапаны; *4* — редуктор; *5* — ключ; *6* — задатчики.

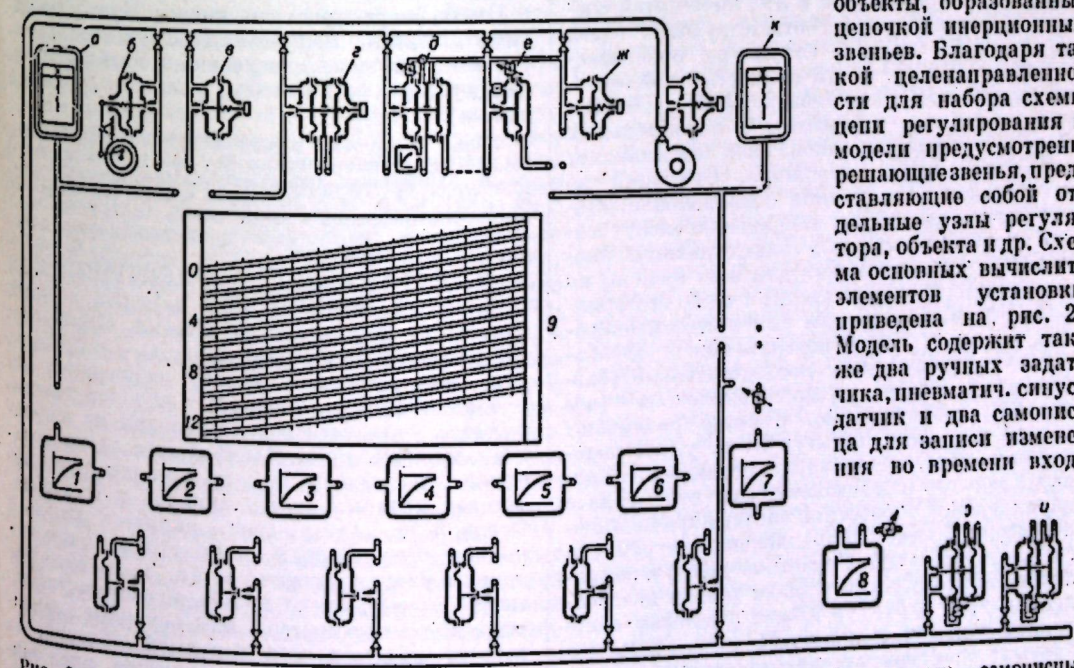


Рис. 2. Установка Фернера: *1—8* — апериодич. звенья; *9* — блок микроманометров; *а*, *к* — самописцы, фиксирующие изменение параметра во времени; *б* — синус-датчик; *в*, *ж* — ручные задатчики; *з* — инверсное звено; *д*, *з*, *и* — И-регуляторы; *е* — П-регулятор.

ного и выходного давлений (или промежуточных давлений).

Лит.: Ланин Н. Д., Малогабаритная пневматическая вычислительная машина непрерывного действия и блок запаздывания, в сб.: Вопросы пневмоники и гидро-автоматики, М., 1960; Ferner V., Der Aufbau einer Modellregelstrecke, «Experimentelle Technik Physik», 1954, H. 2. *Н. Д. Ланин, В. И. Чернышев.*

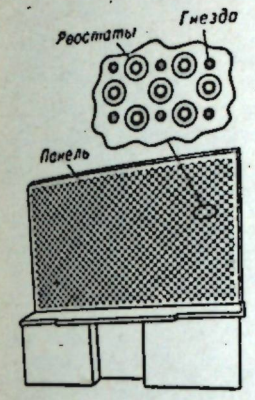
МОДЕЛИРУЮЩЕЕ ЦИФРОВОЕ УСТРОЙСТВО (digital simulator; simulateur numérique; Ziffern-Modelliergerät)—ЦВМ, к-рая допускает выделение в своем составе функциональных блоков, выполняющих отдельные математические операции (интегрирование, перемножение переменных, образование различных функций одной и более переменных и т. д.), и использует для передачи данных между блоками спец. способы кодирования величин, напр. метод *дельта-модуляции*. В каждом из блоков реализуется нек-рый численный алгоритм, и поэтому принцип действия функцион. блоков М. ц. у. аналогичен принципу действия ЦВМ. Блоки М. ц. у. соединяются между собой по схеме, соответствующей решаемой задаче. Составление такой схемы (схемы набора задачи) аналогично составлению структурной схемы для решения задачи на АВМ. Таким образом, М. ц. у. занимает промежуточное положение между ЦВМ и АВМ, сочетая в себе возможности решения задач с достаточно высокой точностью, характерной для ЦВМ, и простоту программирования, свойственную АВМ. Особенно важна здесь возможность построения функцион. блоков, моделирующих работу отдельных звеньев систем автоматич. управления. По структуре М. ц. у. делятся на два осн. типа: последовательные и параллельные. Последовательные М. ц. у. имеют общие для всех функцион. блоков АУ, ЗУ и УУ. Операции, соответствующие различным блокам, выполняются последовательно во времени. Для получения возможности соединения блоков между собой результаты каждой отдельной сложной операции запоминаются в спец. ячейках ЗУ. Эти ячейки коммутируются либо по адресам, также хранящимся в ЗУ, либо путем соединения между собой соответствующих гнезд на наборной панели. Структуры последовательных М. ц. у. почти полностью аналогичны структурам специализир. ЦВМ, работающих по фиксир. программе. У параллельных М.ц. у. каждый функцион. блок представляет собой самостоят. устройство. Операции во всех блоках выполняются одновременно. Набор задачи сводится к соединению между собой входных и выходных гнезд отдельных блоков. УУ является общим для всех блоков, но коммутация блоков не входит в число его функций. Числа, над к-рыми выполняются операции в М. ц. у., могут передаваться и обрабатываться также либо последовательно (разряд за разрядом), либо параллельно (все разряды одновременно). Поэтому различают четыре осн. типа структур М. ц. у.: последовательно-последовательные, последовательно-параллельные (последовательная структура с параллельной обработкой чисел), параллельно-последовательные (параллельная структура с последовательной обработкой чисел) и параллельно-параллельные. Однако только два последних типа структур можно с полным основанием относить к классу М. ц. у., т. к. два первых, по существу, не отличаются от специализиров. ЦВМ с фиксиров. программой.

Благодаря тому, что работа М. ц. у. производится на основании фиксиров. алгоритмов, возможна постановка задачи формального синтеза наилучших структур этих машин. При этом каждая структура описывается рядом чисел, наз. показателями структуры. В простейшем случае в качестве показателей структур можно выбрать количество параллельных каналов или емкость ЗУ, количество параллельных каналов или количество последовательных операц. элементов в АУ, а также порядок ф-лы реализуемого числ. метода. Задача синтеза сводится к отысканию совокупности значений показателей структуры, соответствующей макс. значению нек-рой величины, принимаемой за критерий качества, или эффективность структуры. Напр., за такой критерий можно принять отношение информац. производительности машины к ее относит. сложности. Информац. производительность при этом определяется отношением количества информации, переработанной машиной на одном шаге вычислений, к длительности выполнения этих вычислений. Так, при числ. интегрировании после выполнения $(n-1)$-го шага вычислений значение каждой переменной $y(n)$ в точке x_n будет заключено на интервале $y(n-1)-Mh \leqslant y(n) \leqslant y(n-1)+Mh$, где $M=\max\left|\frac{\partial y}{\partial x}\right|$, h — шаг по оси x. После выполнения вычислений n-го шага значение каждой переменной оказывается заключенным в пределах интервала шириной Δ, где Δ —макс. погрешность, свойственная числ. методу и условиям выполнения вычислений. Т. о., количество информации, переработанной в течение n-го шага вычислений одним функцион. блоком, составляет $J(n)=\log_2 \frac{2Mh}{\Delta}$, а информац. производительность блока $C=\frac{J(n)}{\tau}$, где τ — длительность вычислений одного шага. За меру относит. сложности структуры принимается линейная комбинация количеств использованных в структуре элементов различных типов.

Наиболее распространен. видами М. ц. у. являются *цифровые дифференциальные анализаторы*, используемые для решения обыкновенных дифференц. ур-ний (см. также *Цифровой анализ*).

Лит.: Цифровые дифференциальные анализаторы. Сб. переводов с англ., М., 1959; Шилейко А. В., Цифровые дифференциальные анализаторы, М., 1961; его же, Методика выбора оптимальной структуры цифровой модели, «АиТ», 1961, т. 22, № 1; Майоров Ф. В., Электронные цифровые интегрирующие машины, М., 1962. *А. В. Шилейко.*

МОДЕЛИРУЮЩЕЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЕ СЕТОЧНОЕ УСТРОЙСТВО (electric network simulator; simulateur à réseaux électriques; elektrisches Gitter-Modelliergerät)—устройство для *моделирования полей*, основанное на представлении элементарных объемов моделируемого поля схемами замещения из элементов электрич. цепи. Наибольшее распространение получили М. э. с. у. для решения двумерных краевых задач Лапласа и Пуассона. Основой М. э. с. у. (рис.) является панель с рядами штепсельных гнезд, к к-рым присоединены узлы электрич. сетки. Т. к. смежные гнезда представляют на панели соответственно расположенные центры или вершины элементарных объемов моделируемой области, то расположение гнезд дает геометрич. представление области в целом. Панель М. э. с. у. сравнивают поэтому со своеобразной чертежной доской, на к-рой могут быть нанесены, а затем и набраны отсоединением соответствующих узлов границы моделируемой области. В промежутках между гнездами на панели располагаются миниатюрные магазины сопротивлений, реостаты или контактные устройства для включения сопротивлений различной величины между узлами и размыкания цепи между ними.



Моделирующее устройство «электрич. сетка».

С помощью перем. сопротивлений можно уточнить набор границы, «притягивая» внешние узлы на заданную границу. Для этого контур набирается по внешним узлам по отношению к границе, чем несколько нарушается геометрич. соответствие между ними. Зато сопротивления между узлами на участках, пересекаемых контуром границы, соответственно уменьшаются. Перем. сопротивления могут использоваться и для набора области в системе криволинейных координат. Последними могут служить семейства ортогональных линий, аналитич. выражение к-рых неизвестно. Линии координатной сетки должны по возможности совпадать с границами, а число элементов, на к-рые разбивается область, приближаться к полному числу узлов М. э. с. у. При этом М. э. с. у. используется с наибольшей точностью. Расчет сопротивлений схем замещения элементов ведется из тех же геометрич. соображений, что и в декартовой системе координат. Для более полного использования М. э. с. у. при наборе области применяют также «кройку и шитье», т. е. разделение области на части и сшивку их — соединение отдельных частей области проводниками, включаемыми между соответствующими узлами на соединяемых границах.

М. э. с. у. для решения стационарных краевых задач обычно питаются перем. током пром. частоты. Граничные условия 1-го рода задаются в виде распределения напряжений, для чего граничные узлы соединяются с выводами низкоомного реостатного или автотрансформаторного делителя. Граничные условия 2-го рода задаются с помощью источников тока, имеющих очень большое внутр. сопротивление по сравнению с сопротивлением сетки. Подобным же образом задаются токи в узлы сетки при решении уравнений Пуассона. Практически токи задаются от делителей напряжения через значительные сопротивления, которые целесообразно выполнять реактивными в виде конденсаторов, вследствие их стабильности, дешевизны, а главное — выигрыша в напряжении модели. Граничные условия 3-го рода задаются с помощью омич. сопротивлений конечной величины, однотипных с элементами сетки. Измерение напряжений в узлах сетки, представляющих решение краевой задачи, производится компенсац. методом с помощью нуль-индикатора.

М. э. с. у. для решения ур-ний Фурье значительно сложнее. В узлы сетки для задания стоков подключаются магазины емкостей.

Граничные условия задаются в виде напряжений, изменяющихся по заданному закону во времени.

В СССР серийно выпускаются следующие типы М. э. с. у.: 1) электроинтегратор ЭИ-12. Предназначен для стационарных краевых задач (ур-ния эллиптич. типа). Количество узловых точек двумерной сетки перем. сопротивлений — 488; потребляемая мощность 150 *вт*; габаритные размеры 2468×915×2135 *мм*; вес 450 *кг*; 2) универс. сеточная электромодель УСМ-1. Предназначена для стационарных и нестационарных задач (ур-ния Лапласа, Пуассона и Фурье). В комплект модели входят 2—4 блока сетки сопротивлений (по 1458 узлов в каждом), выполненной в трехкоординатной системе; потребляемая мощность 20 *квт*, площадь, занимаемая моделью, 70 *м*².

Лит.: Тетельбаум И. М., Электрическое моделирование, М., 1959; Волынский Б. А. и Бухман В. Е., Модели для решения краевых задач, М., 1960; Гутенмахер Л. И., Электрические модели, М.—Л., 1949. *И. М. Тетельбаум.*

МОДУЛЬ (в электронике) (module; modul; Modul) — унифицированный функциональный узел в виде взаимнозаменяемого пакета деталей (и менее сложных модулей) массового производства, выполняющий самостоятельную функцию в приборе или аппарате. К простейшим М. можно отнести электронные лампы. В связи с ростом производства и усложнением электронной аппаратуры наблюдается тенденция применения М., выполняющих сложные функции (ждущий мультивибратор, катодный повторитель, однокаскадный усилитель низкой частоты, фазоинвертор, логич. устройство «и» и т. п.); при этом сокращается количество межмодульных переходов. Однако чем проще М., тем больше вероятность его многократного использования в аппаратуре и тем ниже расходы, связанные с его заменой. Преимущества М. четко проявляются там, где преобладает повторяемость отдельных схемных узлов: в вычислительных устройствах, технике многоканальной связи, радиовещат. технике и др. Массовость произ-ва М. дает возможность применить более совершенную технологию их изготовления, в большей степени автоматизировать произ-во; повышается надежность М. и всего прибора в целом.

Модульное (функционально-узельное) проектирование сокращает сроки разработки и изготовления аппаратуры: при макетировании можно использовать готовые М.; сокращаются чертежно-конструкторские работы; произ-во ускоряется благодаря узкой специализации. Ремонт модульной аппаратуры сводится к замене неисправного М., что может быть выполнено малоквалифицированным обслуживающим персоналом. В связи с общей тенденцией *микроминиатюризации* электронной аппаратуры идет процесс сокращения объема, занимаемого М., путем применения печатного монтажа, унифицированных по размерам деталей, уменьшения размеров деталей, использования достижений молекулярной электроники и др. При применении микромодулей повышаются требования к их форме, конструкции межмодульных соединений для обеспечения плотного и надежного их монтажа в блоки.

Лит.: Гедике Г. С., Костюк А. И., Типовые конструкции унифицированных функциональных узлов, «Радиоэлектроника», 1960, вып. 8—9, с. 23—31; Микромодули. [Библиография], «Радиоэлектронная промышленность», 1959, вып. 16, с. 56. *А. Э. Надежин.*

МОДУЛЯТОР (modulator; modulateur; Modulator) — устройство для *модуляции* электрич. колебаний ВЧ. Применяются для передачи какого-либо вида информации путем преобразования электрич. сигналов в изменение параметров колебаний ВЧ в системах радиосвязи, телевидения, радиовещания, телеуправления, телеизмерения, радиолокации, радионавигации и др. В М. управление колебаниями осуществляется при помощи нелинейного сопротивления или элемента, параметры к-рого изменяются в процессе модуляции. В качестве нелинейного сопротивления в схеме М. обычно применяется электронная лампа или полупроводниковый триод. Управляемым элементом может служить реактивная лампа, дроссель низкой частоты с подмагничиванием или емкость p—n-перехода полупроводникового диода, величина к-рой зависит от приложенного к диоду напряжения. Наибольшее распространение получили М. на электронных лампах (триодах, тетродах и пентодах). Схема М. и его принцип действия определяются видом модуляции: амплитудной (АМ), частотной (ЧМ), фазовой (ФМ) и импульсной (ИМ). При АМ М. должен изменять амплитуду колебаний ВЧ в соответствии с модулирующим сигналом низкой частоты (*Модулятор амплитудный*). В случае ЧМ М. должен изменять частоту колебаний ВЧ в соответствии с модулирующим сигналом низкой частоты (*Модулятор частотный*), а при ФМ — фазу колебаний ВЧ (*Модулятор фазовый*). О методах ИМ см. *Модулятор импульсный*. М. входит как обязательная часть в состав радиопередатчика аппаратуры любого назначения и любого диапазона радиоволн. Качество работы М. определяется формой его модуляционной хар-ки. При АМ она представляет собою график зависимости коэфф. модуляции колебаний ВЧ на выходе генератора с независимым возбуждением от амплитуды напряжения звуковой частоты на входе М. При ЧМ — это график зависимости относит. изменения частоты ВЧ колебаний на выходе генератора от амплитуды колебаний модулирующего напряжения НЧ на входе М. Во избежание *нелинейных искажений* при модуляции необходимо, чтобы модуляционная хар-ка М. была линейной функцией модулирующего напряжения в рабочем диапазоне изменений его амплитуды.

Лит.: Евтянов С. И., Радиопередающие устройства, М., 1950; Дробов С. А., Радиопередающие устройства, 2 изд., М., 1951; Модель З. И., Радиопередающие устройства, [3 изд.], М., 1961.

Ю. Б. Любченко.

МОДУЛЯТОР АМПЛИТУДНЫЙ (amplitude modulator; modulateur d'amplitude; Amplituden-Modulator) — устройство для амплитудной модуляции колебаний ВЧ. В современных передатчиках АМ производится путем изменения величины первой гармоники анодного тока I_{a_1} в одном из каскадов тракта усиления колебаний *генератора задающего*. В этом случае в такт с колебаниями амплитуды I_{a_1} этой лампы будет происходить изменение амплитуды напряжения ВЧ на анодном контуре каскада. В результате огибающая колебаний ВЧ на выходе этого каскада будет повторять форму модулирующего электрич. сигнала НЧ. При этом способе амплитудной модуляции М. а. представляет собой обычный *усилитель низкой частоты*. На его вход подается модулирующее напряжение — электрич. сигналы НЧ. Эти сигналы усиливаются в М. а. до необходимой мощности и амплитуды, а затем подаются на один из электродов лампы генератора для АМ колебаний ВЧ передатчика. Различают схемы М. а. с модуляцией на управляющую сетку, на экранирующую сетку, на защитную сетку лампы, на анод, а также комбинированные (по двум электродам лампы передатчика — аноду и экранной сетке).

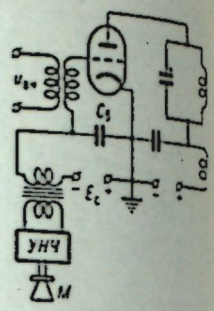


Рис. 1. Амплитудный модулятор для АМ по управляющей сетке: *М* — микрофон; *УНЧ* — усилитель низкой частоты; E_c — постоянное напряжение на управляющей сетке; $U_{вч}$ — высокочастотное напряжение несущей частоты.

В М. а. с сеточной модуляцией по управляющей сетке (рис. 1) колебания НЧ, создаваемые микрофоном *М*, после усиления усилителем НЧ поступают в виде перем. напряжения смещения на управляющую сетку лампы. Это напряжение изменяет анодный ток лампы, модулируя его 1-ю гармонику, что приводит к изменениям амплитуды колебаний ВЧ на анодном контуре каскада.

При АМ по аноду лампы М. а. (рис. 2) должен обладать значительной выходной мощностью. В этом случае перем. выходное напряжение М. а. суммируется с пост. анодным напряжением лампы генератора ВЧ передатчика $Л_2$. В результате анодное напряжение

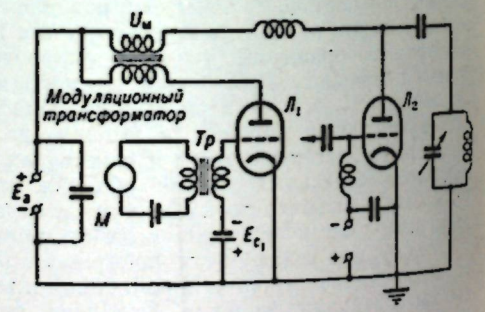


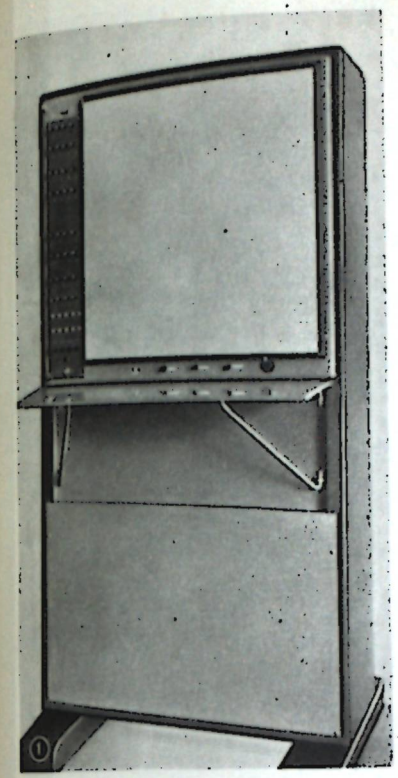
Рис. 2. Амплитудный модулятор для АМ по аноду: *Тр* — микрофонный трансформатор; $Л_1$ — лампа модулятора (УНЧ); $Л_2$ — лампа генератора с независимым возбуждением передатчика; $U_м$ — модулирующее напряжение, действующее на аноде лампы генератора; E_{c_1} — напряжение смещения; E_a — анодное напряжение.

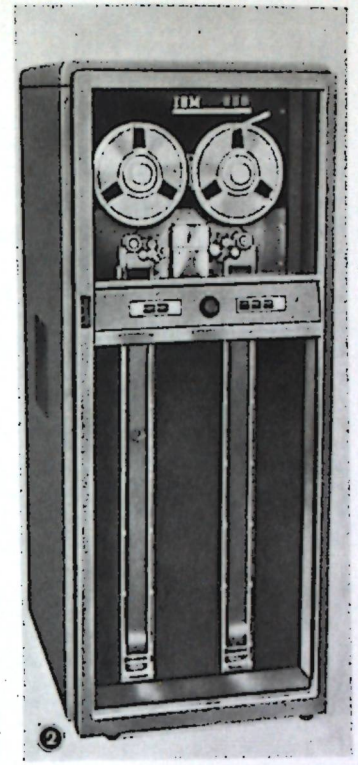
этой лампы изменяется в такт с модулирующими колебаниями НЧ. Это приводит к соответствующим изменениям 1-й гармоники анодного тока лампы $Л_2$ и амплитуды ВЧ напряжения на ее анодном контуре. Для обеспечения требуемой большой выходной мощности в этом типе М. а. обычно применяются *двухтактные схемы* усилителя НЧ. В совр. радиопередатчиках глубина АМ, создаваемой М. а., как правило, не превышает 50—70% ввиду возникновения (при бо́льших глубинах АМ) значительных *нелинейных искажений* промодулированного сигнала (из-за нелинейности хар-к ламп).

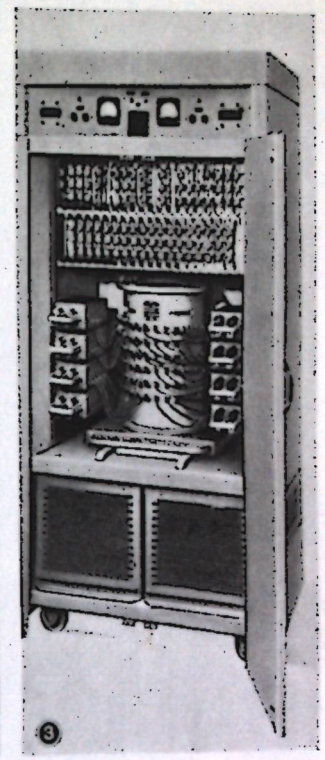
Лит. см. при статье *Модулятор*.

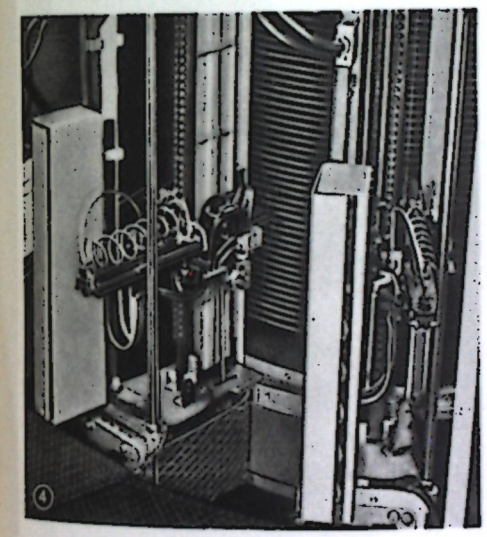
Ю. Б. Любченко.

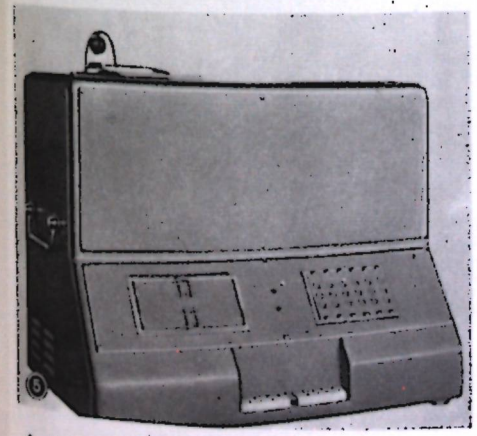
МОДУЛЯТОР БАЛАНСНЫЙ (balanced modulator; modulateur équilibré; Gegentakt-Mo-

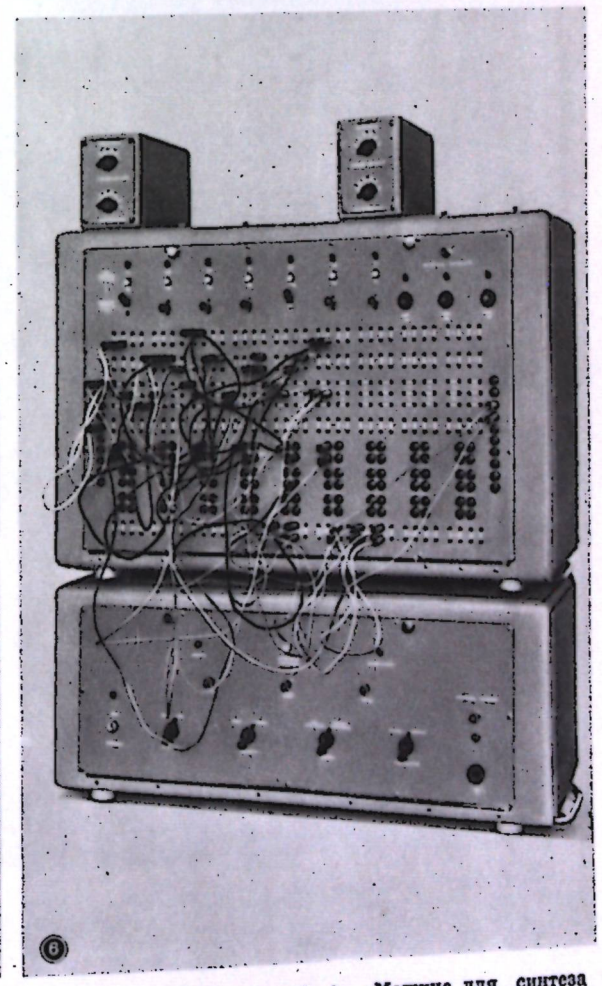




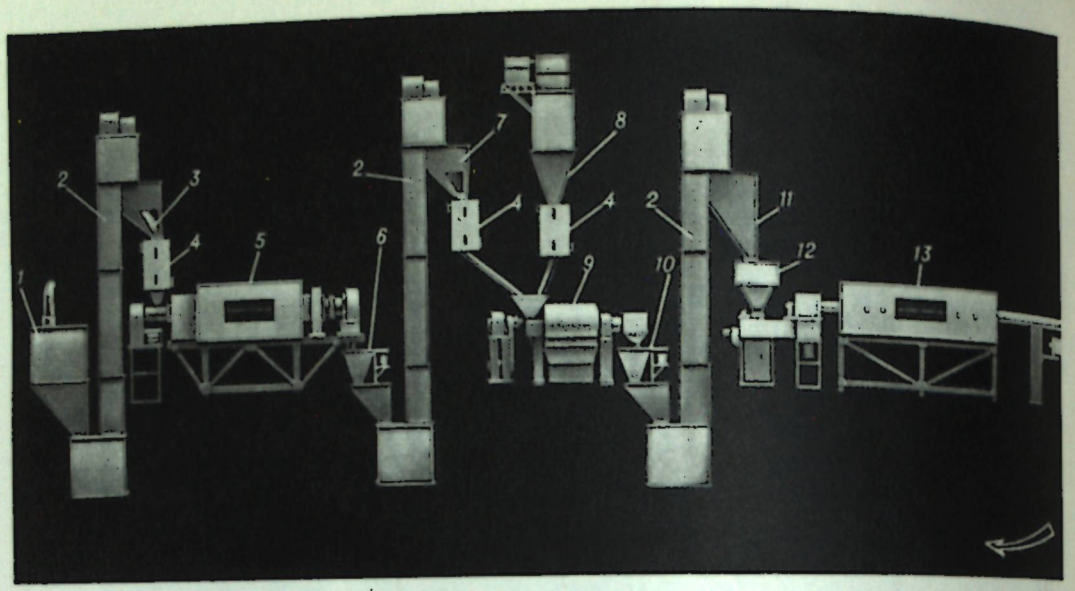


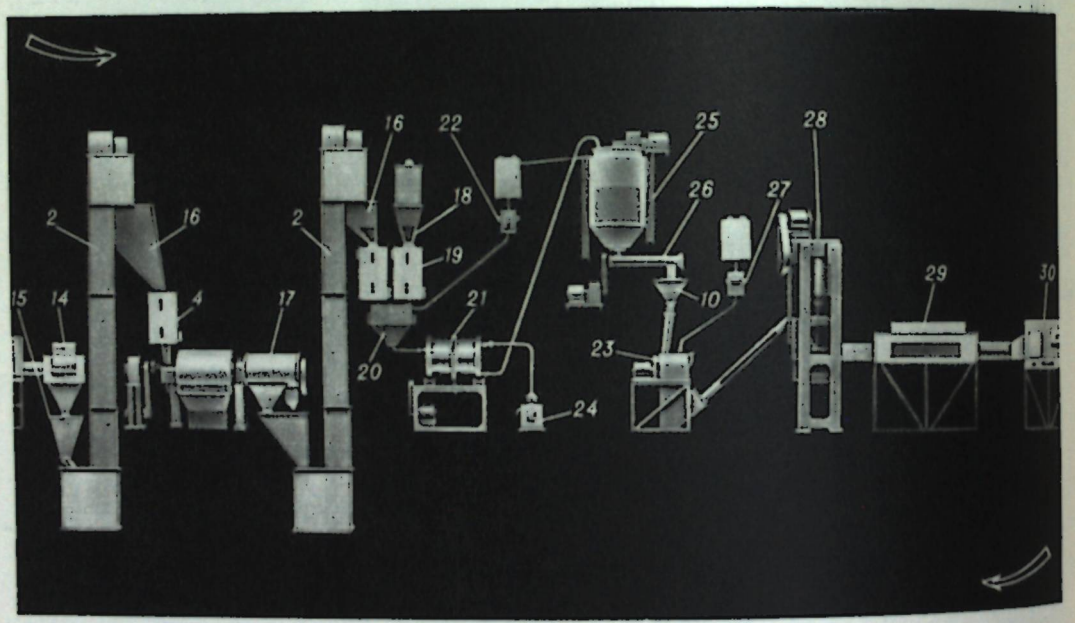


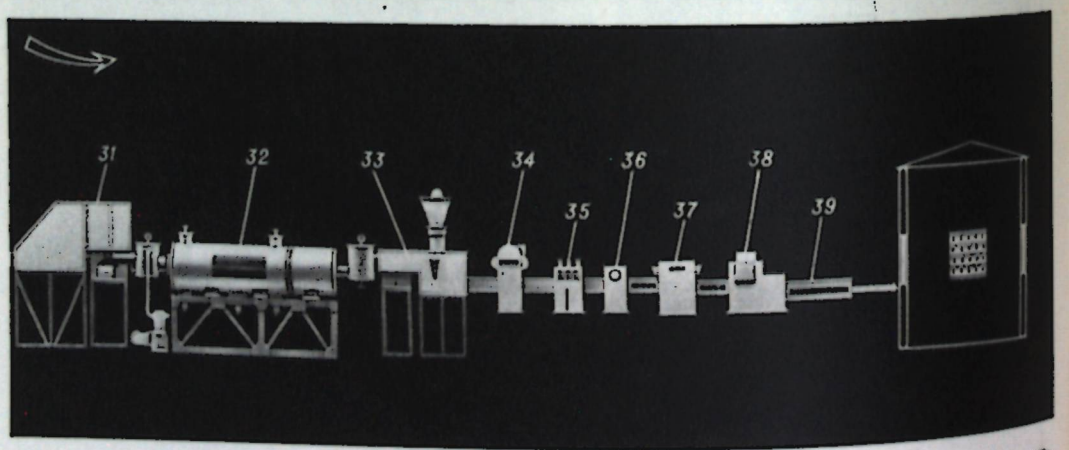




1, 5, 6. К ст. Логическая машина (для анализа и синтеза релейных схем). 1 — Машина для синтеза контактных схем. 5 — Машина для получения минимальных членов булевых функций. 6 — Блочный анализатор релейных схем (БАРС). 2. К ст. Магнитная лента. Лентопротяжный механизм. 3. К ст. Магнитный барабан. Запоминающее устройство на магнитном барабане. 4. К ст. Магнитный диск. Запоминающее устройство на магнитном диске.







Автоматическая поточная линия производства твердых сплавов: *1* — загрузка вольфрамового ангидрида; *2* — скиповый подъемник; *3* — вольфрамовый ангидрид; *4* — дозатор; *5* — восстановление вольфрама из вольфрамового ангидрида; *6* — просев вольфрама; *7* — вольфрам; *8* — сажа; *9* — смешивание вольфрама с сажей; *10* — просев; *11* — смесь вольфрама с сажей (шихта); *12* — дозировка; *13* — карбидизация вольфрама; *14* — разгрузка лодочек; *15* — дробление; *16* — карбид вольфрама; *17* — сухой размол и просев карбида вольфрама; *18* — кобальт; *19* — дозаторы; *20* — смеситель; *21* — размол в спирте; *22* — дозатор спирта; *23* — замешивание с раствором каучука; *24* — компрессор; *25* — дистиллятор; *26* — шнековый питатель; *27* — дозатор раствора каучука в бензине; *28* — прессование изделий; *29* — сушка изделий; *30* — зачистка и разбраковка изделий; *31* — укладка изделий в лодочки; *32* — спекание изделий; *33* — пескоструйная очистка; *34* — рентгенодефектоскопия; *35* — контроль коэрцитивной силы; *36* — контроль удельного веса; *37* — контроль по размерам и маркировка; *38* — фасовка и упаковка; *39* — транспортировка изделий на склад готовой продукции.

lator) — устройство для модуляции колебаний ВЧ по амплитуде с одноврем. подавлением колебаний несущей частоты. При помощи М. б. после амплитудной модуляции колебаний ВЧ из спектра АМ сигнала выделяются боковые частоты. М. б. широко применяются в передатчиках радиотелефонной связи с однополосной передачей и в модуляторах передатчиков стационарных радиостанций с частотной модуляцией. Простейший М. б. (рис. 1) состоит из

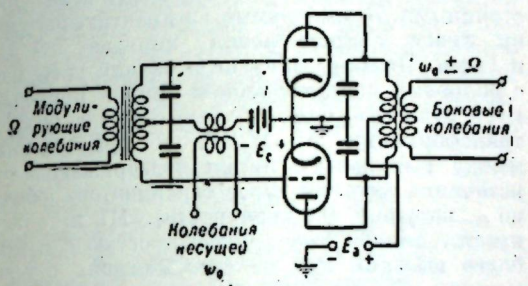


Рис. 1.

двух *генераторов с независимым возбуждением*, включенных по *двухтактной схеме*. На управляющие сетки обеих ламп М. б. поступают в одной и той же фазе (синфазно) колебания несущей частоты ω_0 и в противоположных фазах — модулирующие колебания НЧ Ω. При этом в анодных цепях обеих ламп возникают синфазные токи несущей частоты ω_0 и противофазные токи боковых частот $\omega_0 \pm \Omega_t$. В результате, на выходе М. б. будут возникать только колебания боковых частот АМ сигнала. В качестве модуляторных ламп в М. б. применяются также тетроды и пентоды. В этом случае АМ сигнала несущей может производиться по экранным сеткам или комбинированно — по анодам и экранным сеткам каждой лампы каскада. Обычно М. б. применяется в первых (маломощных) каскадах передатчика. Это связано с тем, что лампы в его схеме работают в очень тяжелом энергетич. режиме: при отсутствии на входе М. б. модулирующего сигнала мощность, потребляемая анодной цепью каждой его лампы, полностью рассеивается на аноде этой лампы. Для уменьшения *нелинейных искажений* в М. б. применяется небольшая глубина модуляции. Для хорошего подавления сигнала несущей частоты на выходе М. б. необходимо тщательно балансировать его схему, применять модуляторные лампы с одинаковыми хар-ками и подбирать режим каждой из ламп. Из-за нелинейности самого процесса модуляции на

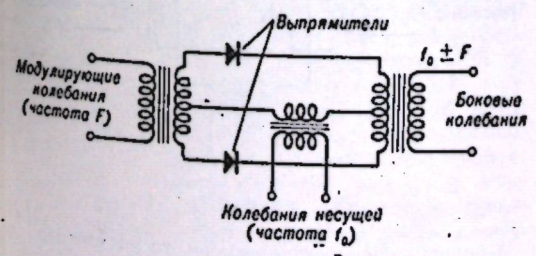


Рис. 2.

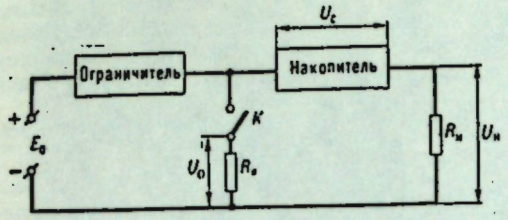
выходе М. б., кроме колебаний боковых частот $\omega_c \pm \Omega$, возникают также нечетные гармоники частоты модуляции Ω и побочные комбинац. колебания боковых частот из гармоник частоты Ω с несущей частотой и ее гармониками (комбинационные частоты): $\omega_0 \pm 3\Omega$; $\omega_0 \pm 5\Omega$; $2\omega_0 \pm 3\Omega$ и т. п., искажающие основной сигнал. Для подавления этих комбинац. частот служит кольцевая схема М. б. (см. *Модулятор кольцевой*).

Часто применяются схемы М. б. на ПП диодах (рис. 2). Для балансировки схемы М. б. подбирают диоды с одинаковыми хар-ками или же последовательно с диодами включают дополнит. сопротивления. При невысоких несущих частотах пользуются М. б. с общей апериодич. нагрузкой.

Лит.: Евтянов С. И., Радиопередающие устройства, М., 1950; Гоноровский И. С., Основы радиотехники, М., 1957; Модель З. И., Радиопередающие устройства, М., 1961. *Ю. Б. Любченко.*

МОДУЛЯТОР ИМПУЛЬСНЫЙ (pulse modulator; modulateur d'impulsions; Impulsmodulator) — устройство для формирования мощных электрич. импульсов, управляющих работой передатчика. При помощи М. и. производится импульсная модуляция колебаний УВЧ последовательностями импульсных сигналов пост. тока, несущими информацию. Выходное напряжение М. и. представляет собой серию электрич. импульсов с плоской вершиной, промежутки между к-рыми, как правило, значительно больше их длительности. Эти импульсы управляют работой передатчика, генерирующего колебания ВЧ только в моменты поступления запускающих импульсов от М. и. В УКВ передатчиках ИМ производится непосредственно в каскаде мощного УКВ генератора (см. *Генератор сверхвысокой частоты*). По своей электрич. схеме М. и. является генератором мощных импульсов. Мощность выходных импульсов М. и. достигает 5000 *квт*, а напряжение в импульсе 50 *кв*. По способу формирования импульсов М. и. могут быть разделены на 2 группы: с усилением низковольтных импульсов по напряжению и мощности и с непосредств. формированием мощных высоковольтных импульсов *четырехполюсниками*, разряжающимися через лампу генератора. Наиболее распространены М. и. второй группы, как более простые по схеме и более надежные в работе. Принцип действия М. и. такого рода основан на накоплении электрич. энергии в нек-ром элементе его схемы (накопителе) в интервале между пусковыми импульсами с последующей быстрой ее отдачей в нагрузку во время пусковых импульсов. Энергия может накапливаться в магнитном или электрич. поле накопителя — катушки индуктивности $L_н$ или конденсатора C. В первом случае при протекании через $L_н$ электрич. тока в ее магнитном поле запасается магнитная энергия. При резком выключении тока накопленная энергия отдается в нагрузку. Для выключения тока может быть применена электронная лампа, включенная последовательно с $L_н$. Лампа в момент начала импульса резко запирается, в результате чего на нагрузке возникает бросок напряжения. Для восстановления израсходованной за время импульса энергии лампа после окончания импульса отпирается, открывая путь протеканию через $L_н$ пост. тока большой величины. Схемы таких М. и. весьма сложны, а потери энергии в разрядном устройстве и вспомогат. цепях модулятора достигают значит. величины, снижая его кпд. На практике применяются гл. обр. схемы М. и. с электростатич. накопителем (рис.). Роль такого накопителя может

выполнять, напр., конденсатор C, заряженный до напряжения U_c. При замыкании переключателя K емкость начинает разряжаться через сопротивление нагрузки $R_н$. Разряд будет длиться до тех пор, пока переключатель K не разомкнется. Если промежуток времени τ между замыканием и размыканием переключателя мал по сравнению с постоянной



Блок-схема импульсного модулятора с электростатич. накопителем: $R_н$ — сопротивление нагрузки; R_i — внутр. сопротивление ключа; E_0 — напряжение источника питания; U_0 — зарядное напряжение накопителя; $U_н$ — напряжение на нагрузке.

времени цепи разряда емкости $R_нC$, то изменение напряжения, возникающего на нагрузке в течение времени τ также мало (обычно не более неск. %). Т. о. на $R_н$ будет сформирован практически прямоугольный импульс напряжения длительностью τ. Безынерционными переключателями служат мощные электронные лампы — триоды или тетроды, способные пропускать большие импульсные токи и выдерживать высокие напряжения. Ламповый М. и. универсален в отношении длительности выходного импульса, к-рая определяется длительностью низковольтного импульса на управляющей сетке коммутирующей лампы. Поэтому ламповые модуляторы применяются обычно при различных видах *модуляции импульсной*. Емкость C в таком М. и. подзаряжается от источника питания через ограничитель тока (индуктивное или активное сопротивление), к-рый одновременно предотвращает чрезмерное потребление схемой М. и. энергии от источника питания E_0 во время импульса, когда переключатель K замкнут. Однако электронные лампы обладают большим внутренним сопротивлением $R_к$, на к-ром при разряде емкости возникает большое падение напряжения U_0 и рассеивается значительная мощность. Напряжение U_0 уменьшает величину напряжения на нагрузке, а рассеиваемая мощность снижает кпд модулятора.

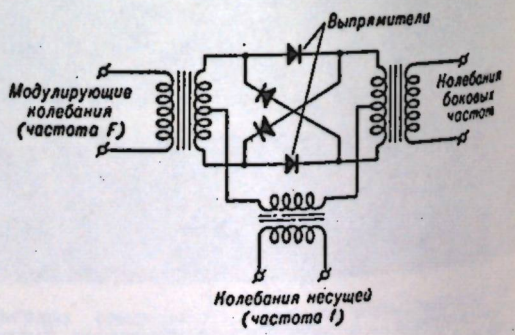
Для снижения величины U_0 в схемах М. и. необходимо применять переключатели с низким внутр. сопротивлением, напр. газоразрядные приборы (тиратроны, тригатроны) или искровые разрядники. Но, по сравнению с электронными лампами, эти приборы обладают крупным недостатком: ток, протекающий через газоразрядный прибор, после его зажигания не может быть прерван в любой момент, как в электронной лампе. Поэтому вся энергия накопителя должна быть рассеяна в нагрузке. Накопитель в виде конденсатора должен полностью разрядиться через нагрузку, в результате чего на ней образуется экспоненциальный, а не прямоугольный импульс напряжения, что не всегда допустимо.

Этого можно избежать путем применения в качестве накопителей отрезков *длинных линий*. Из теории длинных линий известно, что при подключении к линии длиной l, заряженной до напряжения U_c, сопротивления $R_н$, равного ее волновому сопротивлению W, по нагрузке в течение времени t_c (равного удвоенному времени распространения энергии вдоль линии до ее конца) будет протекать пост. ток, создающий прямоугольный импульс напряжения длительностью t_0. Обычно в качестве накопителей применяются *длинные линии искусственные* с W порядка 50 *ом*, имеющие гораздо меньшие габариты, по сравнению с линиями с распределенными постоянными. Применяемые на практике нагрузки имеют сопротивления порядка 500 *ом* и выше. Поэтому для согласования нагрузки с волновым сопротивлением линии применяются *трансформатори импульсные* с коэфф. трансформации $n^2=R_н/W$. В промежутках между импульсами линия подзаряжается от источника питания через ограничитель (обычно катушку индуктивности). М. и. с искусств. линией имеет более простую схему и более высокий кпд за счет меньших потерь энергии на внутр. сопротивлении переключателя и во вспомогат. цепях. Его выходной импульс на нагрузке имеет более прямоугольную форму, чем у лампового М. и. При одинаковой выходной мощности вес и габариты М. и. с искусств. линией меньше, чем у лампового. Однако такой М. и. менее универсален, чем ламповый, т. к. для смены длительности импульса он требует переключения самих формирующих линий. Этот тип М. и. требует, в противоположность ламповому, хорошего согласования с нагрузкой. М. и. обоих типов широко применяются в передатчиках для систем многоканальной радиосвязи и радионавигационных, радиолокац. станций, систем телеуправления, телеметрии, радиоастрономии, а также в эксперимент. физике.

Лит.: Ицхоки Я. С., Импульсные устройства, М., 1959; Дробов С. А., Радиопередающие устройства, 2 изд., М., 1951; Иванов А. Б. и Сосновкин Л. Н., Импульсные передатчики СВЧ, М., 1956; Бычков С. И., Магнетронные передатчики, М., 1955.

Ю. Б. Любченко.

МОДУЛЯТОР КОЛЬЦЕВОЙ (ring modulator; modulateur torique; Ringmodulator) — устройство для модуляции колебаний ВЧ по амплитуде при одновременном подавлении колебаний несущей частоты на выходе, состоящее из двух *модуляторов балансных* (с диодами в диагоналях и плечах схемы), включенных параллельно друг другу. Благодаря такому (рис.) включению диодов в схеме М. к.



Принципиальная схема кольцевого модулятора на полупроводниковых диодах.

возникает меньшее количество комбинационных боковых частот в спектре АМ сигнала, чем в обычном балансном модуляторе, за счет подавления гармоник частоты модуляции. Основное достоинство М. к. — более чистый спектр выходного сигнала.

Лит.: Эйленкриг А. И., Гликман С. Е., Модуляционные устройства для передатчиков с амплитудной модуляцией, М., 1954; Гоноровский И. С., Основы радиотехники, М., 1957.

Ю. Б. Любченко.

МОДУЛЯТОР ФАЗОВЫЙ (phase modulator; modulateur de phase; Phasenmodulator) — устройство для модуляции электрич. колебаний ВЧ колебаниями НЧ по фазе. М. ф. применяются, как правило, только в передатчиках с косвенными методами ЧМ. Чаще всего используются М. ф., принцип работы к-рых основан на превращении АМ колебаний несущей в фазовую модуляцию (ФМ) при помощи *модулятора балансного*. В этом типе М. ф. (рис. 1)

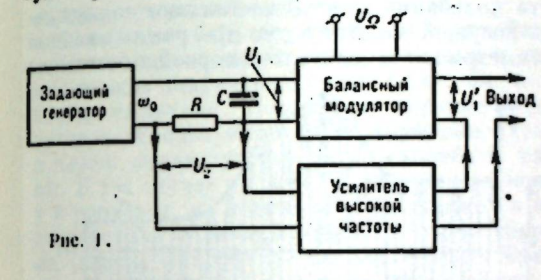


Рис. 1.

колебания высокой частоты ω_0 с выхода высокостабильного вадающего генератора разделяются при помощи RC-цепочки на два колебания, сдвинутые по фазе на 90°. Одно из них с напряжением U_1 поступает на вход балансного модулятора, где подвергается АМ колебаниями низкой частоты Ω. Другое с напряжением U_2 подается на вход усилителя ВЧ. Это напряжение после усиления суммируется в общей нагрузке с напряжением боковых частот спектра амплитудно-модулированного сигнала на выходе балансного модулятора. Сумма этих колебаний представляет собой модулированный по фазе сигнал несущей частоты (рис. 2).

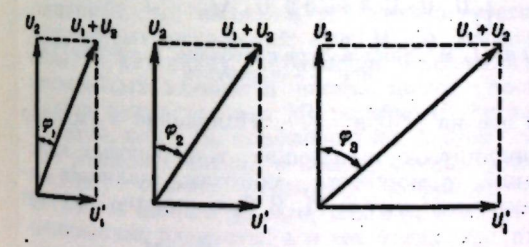


Рис. 2.

В др. типе М. ф. для ФМ несущей применяются схемы с *реактивной лампой*, подключаемой параллельно колебат. контуру усилителя ВЧ в одном из промежуточных каскадов передающего тракта. Принцип работы такого М. ф. основан на том, что расстройка колебат. контура усилителя относительно сигнала несущей частоты ω_0 приводит на его входе к изменениям фазы выходного напряжения относительно фазы 1-й гармоники анодного тока лампы. Величина фазового сдвига определяется крутизной фазовой хар-ки анодного контура усилителя.

Описанные типы схем М. ф. работают с небольшими нелинейными искажениями только при малых изменениях (девиациях) фазы колебаний несущей (обычно не более 25—30°). Для получения больших девиаций фазы, требуемых при высококачественной ЧМ, в тракте передатчика приходится применять сложные многокаскадные схемы преобразования и умножения промодулированного сигнала ВЧ, в результате чего схема ЧМ передатчика становится сложной и громоздкой. Такой ЧМ передатчик может быть применен только в стационарных радиостанциях.

Лит. см. при ст. *Модулятор.*

Ю. Б. Любченко.

МОДУЛЯТОР ЧАСТОТНЫЙ (frequency modulator; modulateur de fréquence; Frequenzmodulator) — устройство для модуляции колебаний ВЧ по частоте. В совр. передающих устройствах применяются 2 типа М. ч.: 1) М. ч., в к-рых ЧМ осуществляется непосредств. изменением частоты задающего генератора передатчика (см. *Генератор задающий*); 2) М. ч., в к-рых несущая частота модулируется по фазе, а затем фазовая модуляция (ФМ) преобразуется в ЧМ. Первый тип М. ч. применяется в маломощных передатчиках, второй — в передатчиках мощных стационарных радиостанций.

В М. ч. с прямыми методами ЧМ частота задающего генератора модулируется изменением величины индуктивности или емкости, подключаемых параллельно его колебат. контуру. Роль такой перем. реактивности и выполняет схема модулятора. Наиболее распространены М. ч. этого типа, построенные по

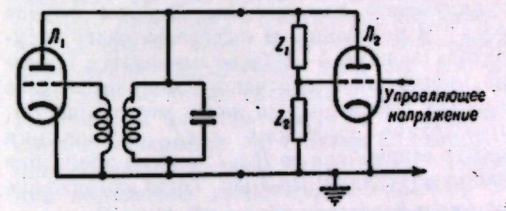


Рис. 1. Схема частотного модулятора с реактивной лампой: $Л_1$ — лампа задающего генератора; $Л_2$ — лампа, образующая вместе с комплексными сопротивлениями Z_1 и Z_2 схему реактивной лампы, подключенную параллельно генератору.

схемам с *реактивной лампой* (рис. 1). В таком модуляторе величину реактивного выходного сопротивления можно изменять при помощи управляющего напряжения на сетке модуляторной лампы $Л_2$. М. ч. с реактивной лампой подключается к колебат. контуру генератора с самовозбуждением и меняет величину его емкости (или индуктивности) в такт с частотой модулирующих колебаний НЧ. При всей простоте этого типа М. ч. крупным недостатком применяемого в нем прямого метода ЧМ является низкая стабильность несущей (средней) частоты передатчика. Это связано с непосредств. воздействием параметров схемы М. ч. на стабильность частоты задающего генератора. Для борьбы с этим явлением в ЧМ передатчиках применяется *автоматическая подстройка частоты* задающего генератора под частоту высокостабильного кварцевого генератора. Система АПЧ компенсирует медленные уходы средней частоты задающего генератора, происходящие вследствие наличия дестабилизирующих факторов, и не реагирует на ее быстрые изменения вследствие ЧМ.

В качестве М. ч. второго типа для косв. методов ЧМ применяется *модулятор фазовый*. На его вход (рис. 2) подаются ВЧ немодулированные колебания f_0 от высокостабильного задающего генератора (зажимы *1—1*), а также модулирующее НЧ напряжение U_Ω (за-

жимы 2—2'. В результате процессов в фазовом модуляторе на его выходе (зажимы 3—3) фаза колебаний высокой частоты f_0 изменяется пропорционально амплитуде входного модулирующего напряжения. Для превращения ФМ в ЧМ необходимо, чтобы изменения фазы Δf

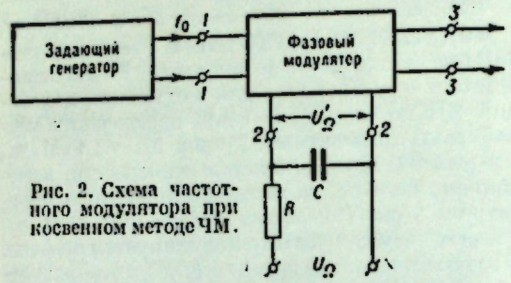


Рис. 2. Схема частотного модулятора при косвенном методе ЧМ.

ВЧ колебаний на выходе модулятора были пропорциональны не амплитуде, а частоте модулирующего напряжения. Для этого между входными зажимами 2—2 фазового модулятора и выходом источника модулирующего сигнала U_Ω включается корректирующая RC-цепочка, благодаря к-рой амплитуда напряжения на входе модулятора U'_Ω изменяется обратно пропорционально частоте Ω модулирующего напряжения. В этом случае фаза ВЧ колебаний на выходе фазового модулятора (зажимы 3—3) будет изменяться обратно пропорционально частоте модулирующего сигнала, что и должно иметь место при ЧМ. Необходимо выполнять след. соотношения между величинами ее R и C во всем диапазоне частот модуляции: $R \gg 1/\Omega C$. Тогда напряжение на входе фазового модулятора $U'_\Omega = U_\Omega / \Omega RC$ и создаваемые им изменения фазы ВЧ колебаний на выходе модулятора будут соответствовать имеющим место при ЧМ. Основным преимуществом М. ч. с косв. методом ЧМ является высокая стабильность ср. частоты передатчика. Это связано с тем, что ЧМ осуществляется в одном из промежуточных каскадов его тракта и не влияет на режим работы задающего генератора. Однако М. ч. этого типа получаются на практике более сложными и громоздкими, чем М. ч. первого типа. Поэтому они применяются только в передатчиках стационарных радиостанций.

Лит. см. при ст. *Модулятор. Ю. Б. Любченко.*

МОДУЛЯЦИЯ (modulation; modulation; Modulation) — изменение параметров физ. процесса (переносчика информации) под воздействием изменяющего сигнала. В связи, телемеханике и в автоматич. управлении информация, подлежащая передаче по каналу с помощью М. наносится на соответствующий переносчик — звуковые, световые, электрич. колебания или потоки электронов (в электровакуумных приборах). Наибольшее распространение получила М. электрич. колебаний. Простейшим видом М. является амплитудная М. гармонич. колебания ВЧ, при к-рой амплитуда этого колебания изменяется в соответствии с законом изменения модулирующего сигнала (рис. 1, *а*). Мгновенное значение модулиров. колебания

$$a = A_н [1 + mg(t)] \cos \omega_0 t.$$

Здесь $A_н$ — амплитуда несущего колебания (несущей) в отсутствие М., ω_0 — несущая частота, $g(t)$ — модулирующий сигнал, t — время, m — коэфф. М., характеризующий степень изменения амплитуды несущей при М. или глубину М.

Чем больше глубина М., тем выше эффективность линии передачи информации и выше отношение сигнала к помехе на ее приемном конце. Однако в случае перемодуляции, когда $m > 1$, возникают нелинейные искажения. Если модулирующий сигнал также гармонический, т. е. при М. одним тоном частоты $\frac{\Omega}{2\pi}$, выражение для модулиров. колебания принимает вид:

$$A_н (1 + m \cos \Omega t) \cos \omega_0 t = A_н \cos \omega_0 t + \frac{mA_н}{2} \cos (\omega_0 + \Omega) t + \frac{mA_н}{2} \cos (\omega_0 - \Omega) t.$$

Это колебание имеет 3 составляющие: одну — на несущей частоте и две др., расположенные симметрично относительно первой и отстоящие

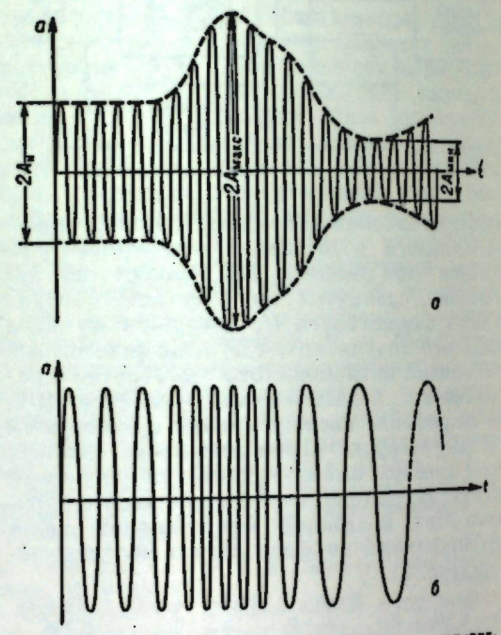


Рис. 1. Модулированное колебание: *а* — амплитудное; *б* — частотное.

от нее на $+\frac{\Omega}{2\pi}$ и $-\frac{\Omega}{2\pi}$. Появление в сигнале дополнит. составляющих, т. н. боковых колебаний, с комбинац. частотами является характерной чертой М. В большинстве случаев

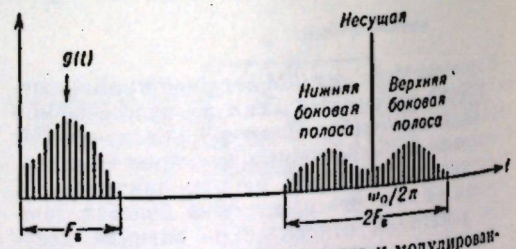


Рис. 2. Спектры модулирующего и модулированного сигналов.

модулирующий сигнал $g(t)$ сложный и состоит из большого числа колебаний различных частот. При этом в результате М. рядом с колебанием несущей частоты образуются два спектра боковых частот (верхняя и нижняя боковые полосы). Полная ширина спектра колебания, модулированного по амплитуде, равна $2F_в$, где $F_в$ — высшая частота в спектре модулирующего сигнала (рис. 2).

При *модуляции частотной*, *модуляции фазовой* и особенно при *модуляции импульсной* спектр модулированного колебания более сложен и, как правило, более широк. Помехоустойчивость этих видов М. значительно выше, чем амплитудной М. Иногда из соображений повышения помехоустойчивости систем передачи информации применяются комбинированные виды М., основанные на одноврем. изменении неск. параметров переносчика. Напр., при амплитудно-фазовой М. один и тот же модулирующий сигнал используется для одноврем. изменения амплитуды и фазы несущего колебания. На рис. 1 даны примеры амплитудной и частотной М. ($A_{макс}$ и $A_{мин}$ — наибольшая и наименьшая амплитуды модулированного колебания).

М. не может быть осуществлена в линейных схемах с пост. параметрами, поскольку в них невозможно получить колебания с новыми комбинац. частотами. Поэтому в качестве модуляторов используются либо линейные схемы с перем. параметрами, либо нелинейные схемы. В 1-м случае в схему включается элемент, у к-рого к.-н. из параметров изменяется в зависимости от величины модулирующего сигнала (напр., микрофон). Во 2-м случае, более распространенном, используется элемент с нелинейной хар-кой, напр. электронная лампа, транзистор и т. д. При одноврем. воздействии на нелинейный элемент несущего колебания и модулирующего сигнала в схеме возникают колебания комбинац. частот, представляющие собой гармоники несущей частоты с соответствующими боковыми полосами. Выделяя с помощью резонансных контуров желаемую гармонику (обычно первую), получают амплитудно-модулиров. колебание. Зависимость амплитуды выделяемой гармоники от величины модулирующего сигнала наз. модуляц. хар-кой. Подбором хар-ки нелинейного элемента и режима работы схемы стараются добиться, чтобы эта зависимость была линейной, что является условием отсутствия нелинейных искажений при М. В системах связи и автоматич. управления при наличии нелинейных элементов иногда может происходить нежелательная М. полезного сигнала помехой, или т. н. паразитная М. В этом случае разделить сигнал и помеху очень трудно. Поэтому обычно стремятся отфильтровать сигнал от помехи до того, как они попадут на нелинейные элементы, а в тех узлах, где присутствуют и сигнал и помеха, не допускать выхода сигнала за пределы линейного участка хар-ки. То же самое относится и к многоканальным системам, где роль помех играют сигналы соседних каналов и может возникать т. н. перекрестная М., т. е. трудноустранимое наложение сигнала одного канала на сигнал другого.

М. звуковых колебаний принципиально не отличается от М. электрич. колебаний. Различие состоит только в технике М.

М. света заключается в изменении интенсивности, спектрального состава или поляризации светового потока в соответствии с законом изменения модулирующего сигнала. М. света используется в различных автоматич. системах с оптич. линиями связи, в устройствах индикации и сигнализации, в кодирующих, измерит. и др. устройствах.

В электровакуумных приборах под М. понимают процесс управления электронным потоком, к-рый является переносчиком информации. Под воздействием модулирующего сигнала может изменяться плотность потока электронов, его направление (см. *Модуляция отклонением*) и скорость электронов в потоке (см. *Модуляция по скорости*). Изменение плотности электронного потока в ЭЛТ под влиянием переменной разности потенциалов между катодом трубки и ее электродами носит назв. М. яркости, поскольку приводит к изменению яркости светового пятна, возникающего на экране трубки. М. яркости широко применяется в телевиз. и радиолокац. технике.

В. М. Байховский.

МОДУЛЯЦИЯ в телемеханике (modulation in remote-control; modulation de télécommande; Modulation in der Fernwirktechnik) — изменение параметра переносчика информации в соответствии с передаваемым сообщением. При передаче дискретных сообщений М. используется для нанесения на переносчик предварительно закодированного сообщения.

В качестве переносчиков информации, параметры к-рых меняются в соответствии с передаваемым сообщением или кодом, в телемеханике обычно используют электрич. ток или электромагнитные колебания. В простых системах ТИ для работы на небольшие расстояния на специально отведенной воздушной или кабельной линии в качестве переносчика информации используется пост. ток или напряжение. В таких системах применяется М. напряжения на входе линии, а на приемной стороне измеряется ток в линии или напряжение, пропорциональное этому току. Изменения параметров линии связи вызывают погрешности ТИ. Для уменьшения этих погрешностей, кроме включения в линию балластных сопротивлений, используют два способа: 1) М. тока непосредственно в линии (балластные системы); 2) измерение на конце линии напряжения компенсац. методом (потенциометрич. системы). Первый способ устраняет зависимость тока в линии от изменения ее сопротивления, но не устраняет погрешности от изменения проводимости изоляции линии связи. Второй способ позволяет значительно уменьшить последние. Эти способы передачи обеспечивают относительную погрешность ТИ в пределах 1,5—2% для кабельных линий связи протяженностью до 30—50 км и воздушных линий связи до 10 км. При каналах связи большой протяженности с сильно меняющимся затуханием и высоким уровнем помех в качестве переносчика информации применяют синусоидальные электромагнитные колебания. Эти колебания могут быть модулированы по амплитуде, частоте или фазе. АМ несущей частоты в телемеханич. системах обычно используется как вторичный вид М. (см. *Модуляция двойная*). Спецификой сообщений при ТИ является узкий, начинающийся от нуля, частотный спектр измеряемого параметра. Передача такого спектра частот встречает ряд трудностей, обусловленных совпадением его со спектром флуктуаций параметров канала связи и аппаратуры. Это обстоятельство затрудняет использование для передачи телеизмерений наиболее распространенной в связи амплитудной модуляции, а при других видах М. приводит к необходимости работать со значительно большими девиациями, чем в связи.

Передача телемеханич. информации посредством *модуляции частотной* (ЧМ) и *модуляции фазовой* (ФМ) позволяет значительно уменьшить погрешности от нестабильности параметров линии связи, что дает возможность осуществлять передачу на большие расстояния. Модулированные колебания могут быть также переданы по радиоканалу. Дальность передачи здесь определяется уровнем сигнала, поступающего на вход приемника, чувствительностью приемника и превышением уровня сигнала над уровнем помех в полосе пропускания входного фильтра приемника. Величина этого превышения зависит от вида М., от характера помех и свойств приемника. ЧМ и ФМ — более помехоустойчивые виды М., чем АМ. Однако по сравнению с АМ эти виды М. требуют более сложной аппаратуры. Что касается занимаемой полосы частот в канале связи, то АМ требует наименьшей полосы частот при условии передачи информации с одной и той же скоростью.

В телемеханике применяются различные виды импульсной модуляции: *модуляция амплитудная импульсная* (АИМ), *модуляция частотная импульсная* (ЧИМ), время-импульсная (ВИМ) (см. *Модуляция временна́я*), *модуляция широтная импульсная* (ШИМ). При импульсных видах М. (кроме АИМ) изменения амплитуды сигнала обычно не вносят большой погрешности в измерения. Эти виды М. не требуют сложной аппаратуры и используются для передачи телемеханич. информации по проводным каналам на большие расстояния. Системы с ЧИМ обычно несколько сложнее систем с ВИМ и ШИМ, но обеспечивают более высокую помехоустойчивость.

При передаче непрерывных ф-ций импульсными методами осуществляется переход от непрерывных сообщений к сообщениям дискретным по времени. В этом случае мгновенные значения ф-ции в моменты отсчета могут принимать любые значения в заданных пределах изменения. Переход от непрерывных к дискретным по параметру сообщениям, к-рым соответствуют дискретные сигналы, осуществляется путем квантования непрерывной ф-ции. Для передачи квантованных значений ф-ции может быть использована *модуляция кодовая импульсная* (КИМ). В ТИ обычно применяют двоичные и двоично-десятичные коды (см. *Кодирование* в телемеханике). В быстродействующих системах КИМ, как правило, применяются двоичные коды, к-рые выгодно отличаются от десятичных значительным уменьшением необходимого числа импульсов, что позволяет уменьшить ошибку от помех при том же быстродействии.

Кроме перечисленных видов М., в телемеханике начинают применять *дельта-модуляцию* (ДМ) и разностно-дискретную модуляцию (РДМ). При одном и том же интервале квантования шум квантования в системе ДМ несколько меньше, чем в случае КИМ. Система с ДМ выгодно отличается от системы с КИМ простотой аппаратуры. ДМ обеспечивает достаточно высокую помехоустойчивость, но имеет специфич. недостаток — накопление ошибки в результате воздействия сильных выбросов помех. Для устранения этого необходима периодич. корректировка показаний. При передаче медленно меняющихся величин более экономичной является система РДМ, в к-рой для борьбы с накоплением ошибки необходима также периодич. корректировка. Период корректировки зависит от уровня помех и допустимой ошибки.

В телемеханике широко применяются многоканальные системы передачи, позволяющие по одной линии связи передавать неск. независимых сигналов. Наибольшее распространение получили частотные и временные способы разделения каналов. Частотное разделение в телемеханике применяется в системах с небольшим числом каналов, обычно не более 10—12, т. к. увеличение их числа приводит к существенному усложнению канальных фильтров и задачи устранения перекрестных помех между каналами. В многоканальных системах применяются двойные и тройные виды М., напр. в системах с частотным разделением каналов передаваемое сообщение модулирует одну из поднесущих частот. Поднесущие частоты от всех каналов складываются и модулируют несущую частоту. Обычно в многоканальных системах с частотным разделением каналов применяют частотную М. поднесущих и амплитудную или частотную модуляцию несущих (ЧМ-АМ, ЧМ-ЧМ). Последние 2 буквы указывают на способ М. несущей частоты, а первые — на способ первичной М. В ряде многоканальных телемеханич. систем в качестве вторичной М. применяется АМ с передачей одной боковой полосы частот без несущей. Такая передача удовлетворяет требованиям высокой помехоустойчивости и эффективности.

При временно́м разделении каналов сообщения передаются последовательно во времени. Обычно в качестве первичной М. при этом применяют какой-либо из видов импульсной М., напр. ВИМ, ШИМ, а в качестве вторичной — амплитудную или частотную манипуляцию (ВИМ-АМ, ВИМ-ЧМ). Количество каналов в системе с временны́м разделением может быть больше, чем в системе с частотным разделением. В сложных телемеханич. системах применяют двойные и тройные виды М., а также комбинированные способы разделения каналов. В системах с тройными видами М. модулированные импульсы или поднесущая частота используются для М. более высокой поднесущей частоты, к-рая, в свою очередь, модулирует несущую частоту, напр. системы ВИМ-АМ-ЧМ, ШИМ-ЧМ-АМ и др. В системах ТУ для передачи команд используются различные коды и различные виды вторичной М. Напр., КИМ-АМ, КИМ-ЧМ-АМ и др. При выборе вида М. прежде всего необходимо учитывать требования, предъявляемые к системам телемеханики, и условия, в к-рых они должны будут работать. На выбор М. влияют: характер линии связи, необходимая помехоустойчивость и эффективность передачи, требования к надежности передачи информации. При использовании радиоканалов на выбор вида М. оказывают влияние: возможный диапазон волн, хар-ка распространения, габариты антенн, допустимая мощность передатчика, иногда ограничения в габаритах и весе аппаратуры. В системах ТИ при выборе вида М. необходимо также учитывать возможности и удобства применения датчиков различных типов. Для заданного вида М. можно выбрать оптимальные, с точки зрения помехоустойчивости и эффективности, соотношения между быстродействием системы, ее точностью и полосой частот, занимаемой сигналом (см. *Помехоустойчивость телеизмерения*).

Лит.: Никольс М. и Раух Л., Теория радиолиний, используемых для телеметрии, в кн.: Техника передачи результатов измерений по радио. Сб. переводов по радиотелеметрии, М., 1955; Управление и измерение на расстоянии. Сб. ст., пер. с англ., [ч.] 1—3, М., 1957—60; Васильев Р. Р., Шастова Г. А., Передача телемеханической информации, М.—Л., 1960; Купершмидт Я. А., Малов В. С., Пшеничников А. М., Современные телеизмерительные системы, М.—Л., 1961.

В. А. Каширин.

МОДУЛЯЦИЯ АМПЛИТУДНАЯ ИМПУЛЬСНАЯ (pulse-amplitude modulation; modulation d'impulsions en amplitude; Impuls-Amplitudenmodulation) — модуляция импульсная, при к-рой передаваемая информация заключена в амплитуде импульсов, посылаемых регулярно в канал связи. Различают М. а. и. 1-го (АИМ-1) и 2-го (АИМ-2) родов. При АИМ-1 в течение всей длительности импульса его амплитуда не изменяется и определяется значением модулирующего сигнала $g(t)$ в нек-рый фиксиров. момент времени, напр. в момент начала импульса (рис. 1). При АИМ-2 за время существования импульса его амплитуда изменяется в соответствии с изменением модулирующего сигнала (рис. 2).

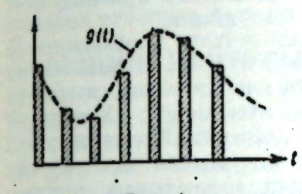


Рис. 1.

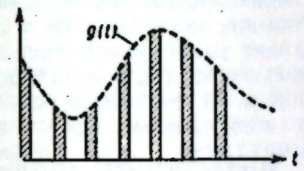


Рис. 2.

В. М. Байковский.

МОДУЛЯЦИЯ ВРЕМЕННА́Я (time modulation; modulation temporelle; Zeitmodulation) — модуляция импульсная, при к-рой передаваемая информация заключена только в величине временного сдвига (фазы) импульсов модулиров. последовательности относительно их положений (тактовых точек) в периодич. последовательности при отсутствии модуляции. Различают М. в. 1-го (ВИМ-1) и 2-го (ВИМ-2) родов. При ВИМ-1 временной сдвиг каждого импульса пропорционален величине модулирующего сигнала в момент появления этого импульса. При ВИМ-2 временной сдвиг k-того импульса последовательности определяется значением модулирующего сигнала в k-той тактовой точке. Часто М. в. наз. модуляцией фазовой импульсной.

В. М. Байковский.

МОДУЛЯЦИЯ ДВОЙНАЯ (double modulation; modulation double; Doppelmodulation) — модуляция, применяемая в многоканальных системах передачи информации, при к-рой вначале производится *модуляция* поднесущих колебаний каждого из каналов сигналами, подлежащими передаче, а затем — основной ВЧ несущей одновременно неск. поднесущими. Для М. д. приняты сокращенные обозначения, напр. АМ-ЧМ, что соответствует частотному разделению каналов с поднесущими, модулированными по амплитуде, к-рые, в свою очередь, модулируют несущую по частоте.

В. М. Байковский.

МОДУЛЯЦИЯ ДВУХТАКТНАЯ (push-pull modulation; modulation à deux cadences; Gegentaktmodulation) — способ осуществления к.-л. вида *модуляции импульсной*, при к-ром модулирующий сигнал может иметь как положит., так и отрицат. значение. В соответствии с этим и модулируемый параметр импульсной последовательности может изменяться в обе стороны от своего номинального или нулевого значения. Напр., при М. д. в случае *модуляции временно́й* импульсы во времени могут сдвигаться и вперед и назад относительно их исходного положения.

В. М. Байковский.

МОДУЛЯЦИЯ ИМПУЛЬСНАЯ (pulse modulation; modulation d'impulsions; Impulsmodulation) — модуляция, при к-рой переносчиком информации является периодич. последовательность видео- или радиоимпульсов. Такая последовательность характеризуется: амплитудой импульсов, их длительностью или шириной, положением во времени (фазой), частотой следования и частотой наполнения импульсов (несущей), если используются радиоимпульсы. В соответствии с тем, какой из этих параметров изменяется под воздействием модулирующего сигнала в процессе модуляции, различают *модуляцию амплитудную импульсную*, *модуляцию широтную импульсную* и т. д.

Лит.: Сифоров В. И. [и др.], Теория импульсной радиосвязи, Л., 1951.

В. М. Байковский.

МОДУЛЯЦИЯ ИМПУЛЬСНАЯ ДВОЙНАЯ (double pulse modulation; modulation d'impulsions double; Doppel-Impulsmodulation) — модуляция двойная, применяемая в системах с временны́м разделением каналов, когда в качестве поднесущих выбраны периодич. последовательности импульсов. Для первичной модуляции в этом случае используются виды *модуляции импульсной*. Напр., если в нек-рой системе в каждом из каналов сигналом, подлежащим передаче, производится *модуляция широтная импульсная* (ШИМ) поднесущих, к-рые затем модулируют несущую по частоте (ЧМ), то говорят, что имеет место модуляция ШИМ-ЧМ.

В. М. Байковский.

МОДУЛЯЦИЯ КОДОВАЯ ИМПУЛЬСНАЯ (pulse-code modulation; modulation impulsive à code; Impulscode-Modulation) — модуляция импульсная, при к-рой вместо отдельных импульсов в линию связи регулярно посылаются их группы, представляющие комбинации к.-л. *кода*. Как правило, для М. к. и. используется двоичный равномерный код, т. е. на каждую группу импульсов отводится одинаковый отрезок времени. Этот отрезок делится на равные интервалы — позиции, по числу знаков в коде. Кодовая комбинация, образованная за счет наличия или отсутствия импульсов на позициях в k-той группе, соответствует квантованному значению модулирующего сигнала в k-той тактовой точке.

В. М. Байковский.

МОДУЛЯЦИЯ МНОГОКРАТНАЯ (multiple modulation; modulation multiple; Mehrfach-Modulation) — модуляция, при к-рой один и тот же переносчик информации используется для передачи неск. сообщений. При М. м. изменение к.-л. параметра переносчика соответствует изменению только одного модулирующего сигнала. Напр., если переносчиком является колебание ВЧ, то один модулирующий сигнал может быть использован для амплитудной *модуляции*, а др.— для *модуляции частотной* этого колебания.

В. М. Байковский.

МОДУЛЯЦИЯ ОДНОТАКТНАЯ (single-cycle pulse modulation; modulation d'impulsions à un seul cycle; Eintakt-Modulation)— способ осуществления к.-л. вида *модуляции*

импульсной, характеризующийся тем, что модулирующий сигнал не изменяет своего знака. При М. о. модулируемый параметр импульсной последовательности изменяется только в одну сторону от своего номинального или нулевого значения. Напр., при *модуляции амплитудной импульсной* видеоимпульсы не изменяют полярности. М. о. часто применяется в импульсной радиосвязи.

В. М. Байковский.

МОДУЛЯЦИЯ ОТКЛОНЕНИЕМ (deflection modulation; modulation par ecart; Ablenkmodulation) — управление потоком электронов в электровакуумных приборах с помощью перем. поперечного электрич. или магнитного поля. Под воздействием поля электронный поток отклоняется от своего первонач. направления и попадает в то место экрана, мишени или маски, помещенных в приборе на пути потока, к-рое соответствует значению модулирующего (управляющего) сигнала в данный момент времени. М. о. применяется в электронолучевых трубках, коммутаторах и др. приборах, используемых для модуляции временно́й, модуляции кодовой импульсной и др.

В. М. Байковский.

МОДУЛЯЦИЯ ПО СКОРОСТИ (speed modulation; modulation par vitesse; Geschwindigkeitsmodulation) — управление потоком электронов в электровакуумных приборах с помощью перем. продольного электрич. поля. М. по с. используется в приборах СВЧ, когда эффективное изменение плотности потока из-за влияния потенциала управляющей сетки становится невозможным (период колебаний сонаправлен с временем пролета электронов). При М. по с. в электронном потоке образуются сгустки и разрежения и, в конечном счете, поток оказывается модулированным по плотности. На М. по с. электронов основано действие *клистронов*, служащих для усиления и генерирования колебаний СВЧ и умножения частоты. *В. М. Байковский.*

МОДУЛЯЦИЯ ФАЗОВАЯ (phase modulation; modulation de phase; Phasenmodulation) — модуляция, при к-рой передаваемая информация заключена в значении фазы несущего гармонич. колебания. В простейшем случае модуляции одним тоном частоты $\Omega/2\pi$ выражение для сигнала, модулированного по фазе, имеет вид:

$$A\cos(\omega_0 t + \Delta\varphi\cos\Omega t),$$

где A — амплитуда, неизменная при модуляции, ω_0 — несущая угловая частота, $\Delta\varphi$ — макс. изменение фазы, пропорциональное амплитуде модулирующего сигнала. В чистом виде М. ф. почти не применяется и, как правило, служит промежуточной ступенью для получения *модуляции частотной*. *В. М. Байковский.*

МОДУЛЯЦИЯ ФАЗОВАЯ ИМПУЛЬСНАЯ (pulse-spacing modulation; modulation d'impulsions par leur espacement; Impuls-Phasenmodulation) — см. *Модуляция временна́я.*

МОДУЛЯЦИЯ ЧАСТОТНАЯ (frequency modulation; modulation de fréquence; Frequenzmodulation) — модуляция, при к-рой передаваемая информация заключена в значении мгновенной частоты несущего гармонич. колебания. В простейшем случае модуляции одним тоном частоты $\Omega/2\pi$ мгновенная угловая частота модулированного колебания

$$\omega = \omega_0 + \Delta\omega\cos\Omega t,$$

где ω_0 — номинальное значение угловой частоты несущей, $\Delta\omega$ — величина, пропорц. амплитуде модулирующего сигнала, наз. девиацией частоты. Поскольку фаза гармонич. колебания представляет собой интеграл от мгновенной угловой частоты, выражение для сигнала, модулированного по частоте, имеет вид:

$$A\cos\int_0^t \omega dt = A\cos\left(\omega_0 t + \frac{\Delta\omega}{\Omega}\sin\Omega t\right),$$

где A — амплитуда, неизменная при модуляции, $\Delta\omega/\Omega$ — индекс модуляции.

В. М. Байковский.

МОДУЛЯЦИЯ ЧАСТОТНАЯ ИМПУЛЬСНАЯ (pulse-frequency modulation; modulation d'impulsions en fréquence; Frequenz-Impulsmodulation, Impuls-Frequenzmodulation) — модуляция импульсная, при к-рой передаваемая информация заключена в частоте следования импульсов. Модуляция производится т. о., что частота следования импульсов изменяется пропорционально изменению модулирующего сигнала. При М. ч. и. так же, как и при *модуляции временно́й*, происходит сдвиг импульсов относительно тактовых точек, но, в отличие от нее, этот сдвиг зависит от частоты модулирующего сигнала и от номинального значения частоты следования импульсов.

В. М. Байковский.

МОДУЛЯЦИЯ ШИРОТНАЯ ИМПУЛЬСНАЯ (pulse-width modulation; modulation d'impulsions en durée; Impulsbreiten-Modulation) — модуляция импульсная, при к-рой передаваемая информация заключена в длительности импульсов, поступающих регулярно в канал связи. Применяются односторонняя М. ш. и., когда модулируется только один из фронтов каждого импульса, и двухсторонняя М. ш. и. В свою очередь они делятся на М. ш. и. 1-го рода — моменты появления и исчезновения каждого импульса определяются значением модулирующего сигнала в эти же моменты времени, и М. ш. и. 2-го рода — моменты появления и исчезновения k-того импульса модулированной последовательности зависят от величины модулирующего сигнала в k-той тактовой точке.

В. М. Байковский.

МОЛЕКТРОНИКА — то же, что *молекулярная электроника.*

МОЛЕКУЛЯРНАЯ ЭЛЕКТРОНИКА, и о л е к т р о н и к а (molecular electronics; électronique moléculaire; Molekularelektronik), — раздел микроэлектроники, занимающийся созданием функциональных систем, в к-рых свойства физич. тел используются непосредственно для выполнения функций электронной аппаратуры. Само название подчеркивает связь данного направления с явлениями, протекающими внутри или между молекулами вещества. Конечная цель М. э. — создание высоконадежных электронных систем с наибольшей функциональной плотностью на единицу объема вещества. Возможность полной автоматизации производства, введения избыточных цепей, самовыравнивающихся схем и схем, выполняющих диагностич. операции, позволит обеспечить весьма высокую надежность устройств М. э. Критерием предельных возможностей М. э. может служить человеч. мозг, к-рый является образцом сложного комплексного устройства с макс. функциональной плотностью. Для реализации максимума преимуществ, потенциально присущих функциональным устройствам М. э., необходимо коренным образом изменить принципы конструирования как систем, так и компонентов. Первоначально микроминиатюризация электронной аппаратуры шла по пути улучшения и совершенствования компонентов за счет использования новых материалов и технологии. Конструктор системы переносил требования к системе в целом на детали, рассматривая последние как классич. индуктивности, емкости, сопротивления, транзисторы и т. п. М. э. открыла совершенно новые возможности создания сложных функциональных устройств путем прямого достижения желаемого функционирования электронной системы, исходя из основной структуры материи. Конструктор системы будет иметь возможность формулировать свои требования только через основные функции системы, а не через средства, с помощью к-рых осуществляются эти функции. Развитие М. э. позволит достичь такого контроля над материалами и процессами, что конструктору нужно будет гл. обр. работать над уточнением требований со стороны системы. Современная М. э. использует в основном явления в твердом теле. Выполнение различных схемных функций участками твердых тел достигается за счет придания им различных электрич. свойств и управления потоком пространственных зарядов.

Твердые схемы являются первым этапом М. э. Построение твердых схем, к-рые в зарубежной печати часто наз. в целях рекламы молектронными устройствами, не ограничивается использованием только III материалов. Возможно построение твердых схем с использованием электролюминесцентных, магнитострикционных, электрострикционных, ферромагнитных, ферроэлектрич., термоэлектрич. и др. материалов. Наибольшее развитие получили III твердые схемы.

Производство твердых схем потребовало освоения сочетания различных технологич. приемов: фотолитографии, метода оксидных масок и диффузии из газовой среды. Несмотря на то, что многие из них применялись при производстве меза-транзисторов, наиболее полно их технологич. эффективность была выявлена в процессе отработки технологии твердых схем.

Одним из наиболее прогрессивных методов полупроводниковой техники для изготовления твердых схем является эпитаксиальное выращивание кристаллов. Эпитаксиальный процесс состоит из выращивания III кристалла из паровой фазы путем осаждения на III подложку. Этот метод позволяет изготовлять многослойные структуры, в к-рых с высокой точностью выдержаны заданные толщины слоев и их сопротивления. Эпитаксиальная технология особенно пригодна для микросхем с большим числом слоев сложной конфигурации. Примером, иллюстрирующим возможности эпитаксиальной технологии, являются разработанные фирмой Дженерал Электрик (США) кремниевые логич. матрицы с высокой плотностью монтажа. Кремниевая квадратная пластина со сторонами 25,4 *мм* содержит 1100 транзисторов или диодов и 4200 сопротивлений.

Стадфордским научно-исследовательским ин-том (США) разрабатывается метод электронно-микроскопич. формовки, к-рая призвана резко повысить плотность монтажа твердых схем. В этом методе используется электронный микроскоп в сочетании с механич. манипуляторами, молекулярно-лучевым травлением и приспособлениями для покрытия. Размеры компонентов составляют ок. 1 *мк*, что позволяет разместить электронную систему с 10^{11} деталями в объеме ок. 15 *см*^{3}. Разработанные твердые схемы по технологии изготовления делятся на 3 типа: 1) формируемые схемы (технология диффузии и сплавления); 2) выращенные схемы (эпитаксиальная технология); 3) схемы микронных размеров (электронно-микроскопич. формирование).

По американским данным, ожидаются след. сроки внедрения твердых схем в массовое производство: формируемых схем к 1968, выращенных — к 1970 и схем микронных размеров — к 1972. В течение след. десятилетия электронные системы будут изготовляться полностью автоматически с использованием ЦВМ. Бо́льшая часть существующих молекулярно-электронных устройств создана эмпирически. Развитие теории явлений, используемых в М. э., а также теории самих молектронных устройств позволит достичь такого уровня контроля над материалами и технологич. процессами, что конструктору достаточно будет работать только над уточнением требований к электронным системам. На основе этих требований ЦВМ будут производить вычисления для определения потребной структуры и управлять производственными процессами, необходимыми для ее осуществления.

Лит.: Молекулярная электроника, в кн.: Микроминиатюризация радиоэлектронной аппаратуры, пер. с англ., М., 1962; Поллок и Гаттеридж (Pollock L., Gutteridge), Новейшие методы конструирования в области линейной электроники, «Электроника», рус. пер., 1962, № 41; Новое в микроэлектронике — кремниевые матрицы с высокой плотностью упаковки, там же, т. 35, № 34; Lesk I. A. [a. o.], A categorization of the solid-state device aspects of microsystems electronics, «Proc. I.R.E.», 1960, v. 48, № 11; Moindl J. D., Jacobs H., Техника систем микроэлектроники, «Электротехника», 1961, № 7; Бетчер и Грэй (Betcher R. R., Gray A. R.), Влияние методов конструирования аппаратуры на прогресс радиотехники, «Тр. ин-та радиоинженеров» (США), рус. пер., 1962, ч. 2, № 5. *Е. И. Гальперин.*

МОЛЕКУЛЯРНЫЙ ГЕНЕРАТОР (molecular generator; générateur moléculaire; molekularer Generator) — генератор электромагнитных колебаний сантиметрового диапазона, в к-ром для генерации используется индуцированное излучение молекул (обычно аммиака) или атомов (водорода). Обладает чрезвычайно большой стабильностью частоты и исключительно узкой полосой генерируемого сигнала, благодаря чему используется в качестве эталона частоты. См. *Квантовая система, Мазер.*

М. М. Горшков.

МОНОКРИСТАЛЛ (monocrystal; monocristal; Einkristall) — одиночный *кристалл*, атомы к-рого расположены в строгой трехмерной периодич. последовательности, в отличие от поликристалла, состоящего из отдельных кристаллич. зерен, разориентированных произвольным образом друг относительно друга. Природные М. часто имеют огранку, образованную атомными плоскостями кристалла (кварц, каменная соль и др.), а выращенные искусств. путем полной огранки, как правило, не имеют. В пространств. решетке М. можно выделить параллелепипед, параллельным переносом к-рого вдоль направлений его ребер можно воспроизвести весь кристалл. Этот параллелепипед наз. элементарной

ячейкой, параметры к-рой характеризуются длинами ребер a, b, c и углами между ними α, β, γ. Все кристаллы по типу симметрии делятся на семь кристаллич. систем: триклинная ($a\neq b\neq c$, $\alpha\neq\beta\neq\gamma$), моноклинная ($a\neq b\neq c$, $\alpha=\gamma=90°$), ромбоэдрическая, или тригональная ($a=b=c$, $\alpha=\beta=\gamma\neq 90°$), гексагональная ($a=b\neq c$, $\alpha=\beta=90°$, $\gamma=120°$), ромбическая ($a\neq b\neq c$, $\alpha=\beta=\gamma=90°$), тетрагональная ($a=b\neq c$, $\alpha=\beta=\gamma=90°$), кубическая ($a=b=c$, $\alpha=\beta=\gamma=90°$). *Германий*, *кремний* и *полупроводниковые соединения* типа $A^{III}B^{V}$ имеют кубич. решетку типа алмаза, атомы в к-рой расположены в вершинах куба, центрах граней куба и, кроме того, 4 атома находятся внутри ячейки (см. также *Ориентация кристалла*). Представление о кристалле как о пространств. решетке, в узлах к-рой находятся атомы, является идеализированным. У реальных М. атомы отклоняются от строго периодич. расположения в результате неравновесных условий роста, внешних воздействий (механических, электрических) и др. Мера отклонения М. от идеальной структуры характеризует степень его несовершенства. Обычно реальные М. состоят из большого числа блоков, имеющих правильное кристаллич. строение, но разориентированных на небольшие углы друг относительно друга. Различают грубую и тонкую мозаичность кристаллов. Грубой мозаичности соответствуют крупные блоки и большие углы дезориентировки (десятки минут и даже градусы). Тонкая мозаичность характеризуется размерами блоков порядка 1 *мк* и меньше и углами дезориентировки блоков в неск. секунд. К отклонениям атомов от идеально периодич. расположения приводят и такие *дефекты кристаллов*, как дислокации, вакансии и др. М., применяемые в ПП технике как исходные материалы, характеризуются высокой степенью очистки от посторонних примесей, относительно большими размерами и высокой степенью совершенства структуры.

Лит.: Кувшинцов В. Д., Кристаллы и кристаллизация, М., 1954; Попов Г. М. и Шафрановский И. И., Кристаллография, 3 изд., М., 1955.

И. М. Суховрева.

МОНОТОННЫЙ ПРОЦЕСС (monotonous process; processus monotone; monotoner Prozeß) — процесс, описываемый монотонной ф-цией. Ф-ция $f(x)$, определенная на заданном отрезке, имеющая внутри него конечную производную $f'(x)$ и непрерывная на концах этого отрезка (в ф-циях, описывающих процессы, встречающиеся в автоматич. регулировании, эти условия обычно выполняются), наз. монотонной, если $f'(x)$ не меняет знака внутри этого отрезка. Причем, если $f'(x)>0$, ф-ция наз. монотонно возрастающей, если $f'(x)<0$ — монотонно убывающей. При $f'(x)\geqslant 0$ монотонная ф-ция наз. неубывающей и при $f'(x)\leqslant 0$ — невозрастающей.

Переходный процесс, вызванный в САР единичным ступенчатым воздействием, может быть определен выражением:

$$x(t)=\frac{2}{\pi}\int_0^\infty \frac{P(\omega)}{\omega}\sin\omega t\,d\omega,\quad t>0, \qquad (1)$$

где $P(\omega)$ — веществ. частотная хар-ка замкнутой системы; $x(t)$ — переходная ф-ция.

Достаточные условия монотонного протекания переходного процесса определяются теоремой: для того чтобы переходный процесс, определяемый выражением (1), протекал монотонно, достаточно, чтобы веществ. частотная хар-ка $P(\omega)$ представляла собой непрерывную положит. ф-цию от ω с отрицат. и монотонно возрастающей (убывающей по абс. величине) производной $\frac{dP}{d\omega}$.

Необходимые условия монотонного протекания переходного процесса, вызванного единичным ступенчатым воздействием, заключаются в следующем: 1) $P(0)\geqslant|P(\omega)|$, т. е. значения, к-рые принимает $P(\omega)$ при всех $\omega>0$, не должны быть больше, чем ее начальное значение при $\omega=0$; 2) $\omega_0 P(0)\geqslant 2\int_0^{\omega_0}|P(\omega)|d\omega$, т. е. удвоенная площадь, ограниченная кривой $P(\omega)$ и осью частот при $\omega>0$, не должна превышать площадь прямоугольника с основанием, равным интервалу частот ω_0, на к-ром $P(\omega)\neq 0$, и высотой, равной начальной ординате $P(0)$; 3) $G(\omega)\geqslant|P(\omega)|$, т. е. веществ. частотная хар-ка замкнутой системы $P(\omega)$ не должна выходить за пределы области, ограниченной графиком ступенчатой ф-ции $G(\omega)$ вида:

$$G(\omega)=P(0)\cos\frac{\pi}{\left[\frac{\omega_0}{\omega}\right]+1},$$

где $\left[\frac{\omega_0}{\omega}\right]$ при данном ω означает наименьшее из целых чисел, превышающее величину $\frac{\omega_0}{\omega}$.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Фихтенгольц Г. М., Основы математического анализа, 2 изд., т. 1, М., 1956.

Е. Ф. Самбурова.

МОНТЕ-КАРЛО МЕТОД, метод статистических испытаний (Monte-Carlo method; méthode de Monte-Carlo; Monte-Carlo-Methode), — численный метод решения задач при помощи моделирования случайных событий. Назв. «М.-К. м.» происходит от города Монте-Карло (Монако), известного своим игорным домом. Датой возникновения М.-К. м. считают 1949 (Дж. Нейман, С. Улам), хотя нек-рые расчеты путем моделирования случайных событий (см. *Вероятностный процесс*) осуществлялись статистиками и ранее. Широкое распространение М.-К. м. смог получить только после появления быстродействующих вычислит. машин, ибо возможности моделирования вручную весьма ограничены. Программы для расчетов по М.-К. м. на ЭВМ сравнительно просты и, как правило, позволяют обходиться без большой оперативной памяти.

Классич. методы исследования случайных процессов основаны на использовании функцион. ур-ний, к-рым удовлетворяют отдельные хар-ки этих процессов. Напр., при изучении движения молекул выводятся т. н. кинетич. ур-ния для распределения скоростей этих молекул. М.-К. м. использует связь между случайными процессами и задачами анализа в противоположном направлении: для заданной математич. задачи выбирается случайный процесс так, чтобы искомые решения задачи равнялись вероятностям или математич. ожиданиям к.-л. хар-к этого процесса. Затем процесс моделируется, и эти хар-ки вычисляются; получаются приближенные (статистические) оценки искомых решений. Пример: требуется вычислить объем V тела, расположенного внутри единичного куба. Выберем внутри куба N случайных точек и обозначим через N' число точек, попавших при этом внутрь тела. Приближ. оценкой V может служить отношение $\frac{N'}{N}$, математич. ожидание к-рого равно V. Очевидно, для решения по М.-К. м. вероятностных задач можно моделировать случайные процессы, лежащие в основе этих задач (и, т. о., обходиться без аналитических ур-ний). Успех расчета по М.-К. м. во многом зависит от удачного выбора модели. Осн. применения М.-К. м. связаны с задачами физики (гл. обр. физики элементарных частиц), теории стрельбы, радиотехники, массового обслуживания и др. Особенно эффективен М.-К. м. при решении многомерных задач в тех случаях, когда достаточна невысокая точность решения (5—10%). Характерная черта расчетов по М.-К. м.— использование случайных элементов, т. е. чисел, имитирующих значения случайных величин. Источниками случайных элементов могут служить таблицы случайных чисел, псевдослучайные числа (см. *Псевдослучайных чисел метод*) и спец. технич. устройства — *датчики случайных чисел*. Числа, получаемые из к.-л. источника случайных элементов, принимаются в качестве значений одной конкретной случайной величины. По ним можно сосчитать («разыграть») значения любой др. случайной величины. Напр., псевдослучайные числа γ_1, γ_2, ... обычно имитируют значения случайной величины γ, равномерно распределенной на отрезке $[0,1]$; тогда значения случайной величины η с интегр. ф-цией распределения $F(x)$ можно находить из ур-ния $F(\eta)=\gamma$. Таблицами случайных чисел пользуются преимущественно в ручном счете. В расчетах на ЭВМ чаще всего применяют псевдослучайные числа.

Схема моделирования физич. задачи. Пусть в интересующую нас область попадает поток частиц, элементарные законы взаимодействия к-рых с атомами вещества известны. Выбрав одну из таких частиц, разыгрываем (случайно выбираем) для нее длину свободного пробега и находим время и место ее столкновения с атомом вещества. Затем разыгрываем тип взаимодействия (поглощение, рассеяние, распад и т. п.), к-рое определяет «судьбу» рассматриваемой частицы. Для каждой из вновь получ. частиц разыгрываем направление (а иногда и скорость) полета и новую длину пробега и т. д. Получаем, вообще говоря, ветвящуюся траекторию, ветви к-рой заканчиваются тогда, когда соответствующая частица поглощается или вылетает из области. Построив достаточно большое число таких траекторий, можно получить приближ. макроскопич. хар-ки потока (плотности разных частиц, их спектры и т. п.).

Вычисление n-мерного интеграла

$$I=\int f(x)\,dV,$$

где

$$x=(x^{(1)},\ x^{(2)},\ \ldots,\ x^{(n)}),$$
$$dV=dx^{(1)}dx^{(2)}\ \ldots\ dx^{(n)},$$

область интегрирования V. Пусть $p(x)>0$ — произвольная плотность вероятностей, определенная в V. Интеграл I, записанный в форме

$$I=\int|f(x)/p(x)|\,p(x)\,dV,$$

представляет собой математич. ожидание случайной величины $f(\xi)/p(\xi)$, где ξ — случайная точка с плотностью $p(x)$. Если разыграть достаточно большое число N таких точек $\xi_1, \xi_2, \ldots, \xi_n$, то

$$I\approx\frac{1}{N}\left[\frac{f(\xi_1)}{p(\xi_1)}+\frac{f(\xi_2)}{p(\xi_2)}+\ldots+\frac{f(\xi_n)}{p(\xi_n)}\right].$$

Вероятная ошибка такого приближения равна $0{,}675\sqrt{D/N}$, где D — дисперсия осредняемой величины $f(\xi)/p(\xi)$. Существуют различные приемы уменьшения дисперсии. Для этой цели можно, в частности, воспользоваться произволом в выборе $p(x)$.

Лит.: 1) Бусленко Н. П., Шрейдер Ю. А., Метод статистических испытаний (Монте-Карло) и его реализация на цифровых вычислительных машинах, М., 1961; 2) Браун Дж. В., Методы Монте-Карло, в сб.: Современная математика для инженеров, пер. с англ., [2 изд.], М., 1959; 3) Symposium on Monte Carlo methods, ed. by H. A. Meyer, N.-Y.—L., [1956].

И. М. Соболь.

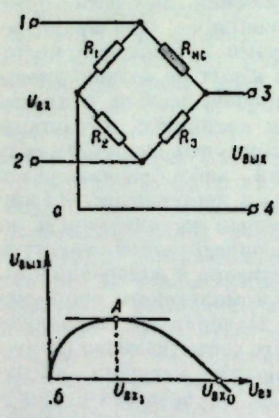
МОСТ КВАЗИУРАВНОВЕШЕННЫЙ (quasi-balanced bridge; pont quasi-équilibré; quasi-abgeglichene Brücke) — измерит. мост перем. тока, отличающийся тем, что изменение параметров измерит. цепи производится до достижения нек-рого определенного соотношения — «квазиравновесия» — между векторами напряжений мостовой цепи, ни один из к-рых не должен уменьшаться до нуля. Наиболее удобны и просты М. к., приводимые к состоянию, характеризуемому либо заданными соотношениями между модулями напряжений, либо фазовым углом между двумя векторами напряжений. Характерным св-вом и основным достоинством М. к. является то, что при определенной структуре мостовой цепи обеспечивается измерение к.-л. одной составляющей комплексного сопротивления независимо от значения др. составляющей этого комплексного сопротивления (напр., измерение индуктивности катушки производится независимо от ее активного сопротивления, к-рое при этом может меняться). М. к. удобен для измерений параметров электрич. цепей (активных и реактивных сопротивлений, емкости, индуктивности, взаимной индуктивности, добротности, угла потерь и др.) в диапазоне звуковых и повышенных частот.

Существуют четырехплечие и многоплечие варианты М. к. Одно плечо М. к. представляет собой измеряемое сопротивление, остальные плечи — известные сопротивления. Выполнение заданных соотношений между модулями или фазами двух векторов напряжения в цепи фиксируется соответственно при помощи дифференциальных или фазовых указателей. Чаще всего М. к. работают в режимах равенства модулей, совпадения ($\varphi=0°$) и квадратуры ($\varphi=90°$) векторов. Указатели, в зависимости от выбранного режима, подключаются к соответствующим точкам мостовой цепи, часто параллельно отдельным плечам или их частям, что может вызвать дополнит. погрешность за счет эффекта шунтирования. М. к. с дифференциальными и фазовыми указателями характеризуются тем, что состояние квазиравновесия не зависит от изменения питающего напряжения. В качестве перем. образцовых мер могут быть использованы исключительно активные сопротивления. При уравновешивании направление регулировки перем. элементов, из-за полярности указателей, совершенно однозначно.

Разработаны схемы для раздельного измерения одной составляющей или одновременного, но раздельного измерения двух составляющих комплексного сопротивления, а также *мосты процентные*. Погрешность измерений не превышает обычно 1—2%. Процесс измерения на М. к. может быть легко автоматизирован. М. к., обеспечивающие раздельное измерение составляющих комплексного сопротивления, находят применение в устройствах автоматики, телемеханики, регулирования и управления, особенно удобны для контроля параметров радиодеталей и определения процентного отклонения измеряемых параметров от номинальных значений в производств. условиях.

Лит.: Карандеев К. Б., Штамбергер Г. А., Квазіврівноважені мости змінного струму, Київ, 1960; Карандеев К. Б., Штамбергер Г. А., Обобщенная теория мостовых цепей переменного тока, Новосибирск, 1961. *К. Б. Карандеев.*

МОСТ НЕЛИНЕЙНЫЙ (nonlinear bridge; pont non-linéaire; nichtlineare Brücke) — мост, по крайней мере одно из плеч к-рого содержит нелинейное сопротивление. Схема М. н. с одним активным нелинейным сопротивлением в плече (рис., *а*) находится в равновесии по пост. току при $R_1R_3=R_2R_{нс}$, где $R_{нс}$ — статич. сопротивление нелинейного элемента в данной рабочей точке. При изменении входного напряжения равенство нарушается, т. к. величина $R_{нс}$ зависит от приложенного напряжения (рис., *б*). Равенство выполняется при входном напряжении, равном $U_{вх_0}$. Отклонение $U_{вх}$ от $U_{вх_0}$ вызывает появление $U_{вых}$, к-рое по величине и знаку характеризует величину и направление отклонения $U_{вх}$ от значения $U_{вх_0}$. Если в качестве нелинейного элемента в схеме включено термосопротивление (лампа накаливания, термистор и др.), то М. н. может быть уравновешен также и на перем. токе. В этом случае величина $U_{вх}$ и $U_{вых}$ — действующие значения напряжений, а изменение знака при переходе графика функции через точку $U_{вх_0}$ означает изменение фазы выходного напряжения. Это свойство М. н. используется при построении измерит. элементов систем автоматич. регулирования и автоматич. контроля. В частности, М. н. с термосопротивлением в плече (термистор, лампа накаливания) используется в качестве измерит. элемента компенсационного стабилизатора действующего значения перем. напряжения. М. н. в указанном режиме характеризуется коэфф. передачи $K=\Delta U_{вых}/\Delta U_{вх}$ в точке $U_{вх_0}$, где $\Delta U_{вых}$ и $\Delta U_{вх}$ — соответственно величины приращений напряжений на выходе и входе М. н. Величина $K\leqslant 1$ в случае применения нелинейных элементов с динамич. сопротивлением $R_{нд}\geqslant 0$; $K>1$ (теоретически до ∞, практически до неск. десятков) при $R_{нд}<0$ (напр., при использовании термистора).



Мост с одним нелинейным сопротивлением: *а* — схема; *б* — характеристика $U_{вых}=f(U_{вх})$.

Индикаторами отклонения действующего значения напряжения от заданного уровня могут служить М. н. с управляемыми нелинейными элементами, напр. насыщенным вакуумным диодом с вольфрамовой нитью, фотосопротивлением, освещаемым лампой накаливания, и др. В этом случае питание М. н. осуществляется от постороннего источника пост. или перем. тока, а управляющим является напряжение, уровень к-рого необходимо измерять или стабилизировать. Напр., электроды насыщенного диода включаются в плечо моста, а управляющее напряжение подается на накал диода. М. н. может быть параметрическим стабилизатором напряжения; это обусловливается свойством характеристики (рис., *б*) в окрестности точки A, соответствующей $U_{вх}=U_{вх_1}$; изменение $U_{вх}$ около $U_{вх_1}$ в значительных пределах вызывает малое изменения $U_{вых}$. М. н. в этом режиме характеризуется интегральным коэфф. стабилизации $M=\dfrac{\Delta U_{вх}}{U_{вх}}:\dfrac{\Delta U_{вых}}{U_{вых}}$, к-рый определяется при заданном $\Delta U_{вх}$. Напряжение пост. тока можно стабилизировать, используя термосопротивления, а также собственно нелинейные активные сопротивления, напряжение переменного тока — посредством термосопротивлений и собственно нелинейных элементов (активных, индуктивных, емкостных). Однако при применении последних искажается форма кривой выходного напряжения. Коэфф. M в таких стабилизаторах равен от неск. десятков до сотен при изменении входного напряжения на 10—20% от ср. значения. При каскадном включении мостовых стабилизаторов, когда вход последующего М. н. подключается к выходу предыдущего, M может быть увеличен (до неск. тысяч для двухкаскадного стабилизатора).

М. н. применяются при построении функциональных цепей различного вида: квадратичных, логарифмич. цепей умножения и деления и другие. В этом случае используются собственно нелинейные элементы как с симметричными, так и с несимметричными хар-ками: меднозакисные выпрямители, германиевые диоды, тиритовые и вилитовые сопротивления и др. Широко распространены М. н. с выпрямительными нелинейными элементами в плечах для преобразования перем. тока в постоянный: выпрямители для питания цепей пост. током и преобразователи для цепей измерит. техники (напр., М. н. в измерит. приборах перем. тока с выходом на прибор магнитоэлектрич. системы).

Лит.: Гинзбург С. А., Нелинейные цепи и их функциональные характеристики, М.—Л., 1958; Карандеев К. Б., Полупроводниковые выпрямители в измерительной технике, Киев, 1954; Сотсков Б. С., Общая формула для напряжения и тока в измерительной диагонали моста Уитстона с нелинейными сопротивлениями, «АиТ», 1948, № 5; Полупроводниковые термосопротивления. Сб. ст., под ред. Б. С. Сотскова, М.—Л., 1959. *С. Т. Васьков.*

МОСТ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА автоматический [automatic A. C. (alternating current) bridge; pont automatique à courant alternatif; automatische Wechselstrombrücke, selbsttätige Wechselstrombrücke] — прибор для измерения составляющих комплексного сопротивления, в основе к-рого лежит автоматически уравновешиваемая мостовая схема перем. тока. М. п. т. можно классифицировать: по состоянию, к к-рому приводится мостовая схема,— уравновешенные и квазиуравновешенные

М. п. т.; по числу регулируемых параметров — М. п. т. с одним и с двумя регулируемыми параметрами; по виду результата измерения — М. п. т. с непрерывной шкалой и с цифровым выходом и т. д. В уравновешенных М. п. т. мостовая схема регулировкой перем. параметров приводится к состоянию равновесия, при к-ром напряжение на измерит. диагонали равно 0. В случае изменения лишь одной составляющей комплексного сопротивления М. п. т. уравновешивается одним параметром. Простейшие М. п. т. с уравновешиванием одним параметром широко применяются для измерения на перем. токе омич. сопротивлений и различных неэлектрич. величин, преобразуемых датчиками в омич. сопротивления (напр., электропроводности, темп-ры, усилия, деформации и др.). В СССР серийно выпускается широкая номенклатура таких М. п. т., отличающихся формой представления результатов измерения, диапазоном измерения, размерами, наличием дополнит. блоков (напр., для регулирования, для последоват. измерения с неск. датчиками, для сигнализации о достижении установленного значения и др.), временем уравновешивания и др. (см. табл.).

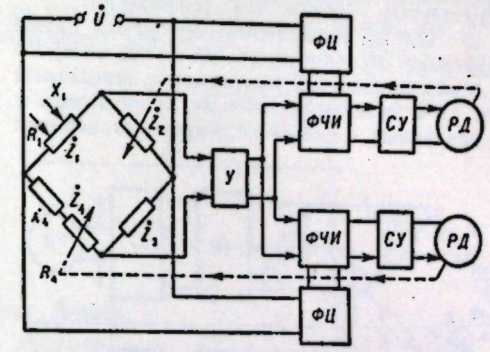


Рис. 1. Схема моста с уравновешиванием двумя параметрами с фазочувствительными индикаторами: *У* — предварительный усилитель; *ФЧИ* — фазочувствительный индикатор; *ФЦ* — фазосдвигающая цепочка; *СУ* — сервоусилитель; *РД* — реверсивный двигатель.

нит. органами). В общем случае оба сигнала управления зависят от обоих регулируемых параметров и контуры уравновешивания оказываются взаимосвязанными. Величина взаимосвязи определяется выбором фаз опор-

Основные данные нек-рых автоматич. электронных мостов перем. тока (с уравновешиванием одним параметром)

Тип	Основная погрешность (% от предела измерения)		Время прохождения шкалы (сек.)	Габаритные размеры (мм)			Модификации
	измерения	записи		высота	ширина	глубина	
ЭМП-209, показывающий и самопишущий с ленточной диаграммой шириной 275 мм	±0,5	±0,5	0,5—8	483	507	387	На 1, 2, 3, 6, 12 или 24 точки с регулирующим устройством и без него
МС1, показывающий и самопишущий с ленточной диаграммой шириной 160 мм	±0,5	±1,0	2,5; 8	275	360	404	На 1, 2, 3, 6 или 12 точек с регулирующим устройством и без него
МСМР2, одноточечный показывающий и самопишущий с ленточной диаграммой шириной 100 мм	±1,0	±1,0	6,0; 2,5; 1,0	186	186	440	С реохордом для дистанц. передачи, с релейным регулирующим устройством или без него
ЭМД-209, показывающий, самопишущий и регулирующий, с дисковой диаграммой	±0,5	±1,0	5—15	470	506	292	С электрич. или пневматич. регулирующим устройством, с реостатным задатчиком или без них
ЭМВ-21, показывающий с цилиндрическим вращающимся циферблатом	±0,5	—	8	235	332	457	На 1, 6 или 12 точек с регулирующим устройством, реостатным датчиком или без них
МПР, стрелочный показывающий и сигнализирующий	±0,5	—	—	170	170	324	—

В случае изменения обеих составляющих измеряемого комплексного сопротивления для уравновешивания мостовой схемы необходима регулировка 2 параметров. Свойства М. п. т. с уравновешиванием 2 параметрами во многом определяются способом формирования сигналов управления регулирующими органами, в зависимости от к-рого такие М. п. т. можно разделить на 3 группы.

1) Сигналы управления формируются путем разложения напряжения на диагонали мостовой схемы на 2 составляющие с помощью фазочувствительных нулевых органов (рис. 1). В качестве последних применяются синхронные детекторы (иногда двухфазные асинхронные двигатели, являющиеся исполных напряжений фазочувствит. нульорганов. Для улучшения динамич. свойств М. п. т. фазы опорных напряжений устанавливают так, чтобы величина взаимосвязи в диапазоне измерения была минимальной. При относительно небольшом (по сравнению с абсолютным значением измеряемой составляющей) диапазоне измерения это достигается развязкой контуров уравновешивания в средней части диапазона и жесткой связью фаз опорных напряжений с напряжением питания моста; при широком диапазоне — связыванием опорных напряжений с напряжениями, снимаемыми непосредственно с элементов мостовой схемы. Достоинство этих М. п. т.— высокая статич. точность при простоте изме-

рит. части моста. Недостаток — один из регулирующих органов иногда движется некоторое время в сторону, противоположную направлению достижения равновесия.

2) Сигналы управления образуются двумя дифференц. нульорганами, на входы каждого из к-рых подаются 2 напряжения, снимаемых (рис. 2) с различных точек мостовой схемы и со связанных с ней фазосдвигающих цепочек

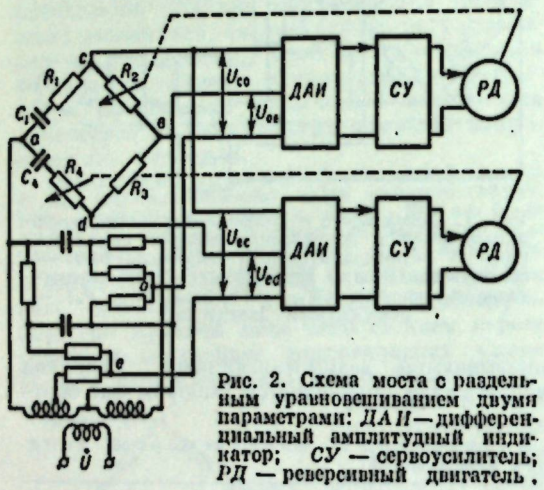


Рис. 2. Схема моста с раздельным уравновешиванием двумя параметрами: *ДАИ* — дифференциальный амплитудный индикатор; *СУ* — сервоусилитель; *РД* — реверсивный двигатель.

(см. *Мостовых схем раздельное уравновешивание*). Достоинство — практически полная развязка контуров уравновешивания в широком диапазоне измерения; недостатки — вносимые нульорганом дополнит. погрешности и неудобства.

3) Для формирования сигналов управления используют «пробные» движения регулируемых параметров. Задача уравновешивания мостовой схемы является задачей минимизации

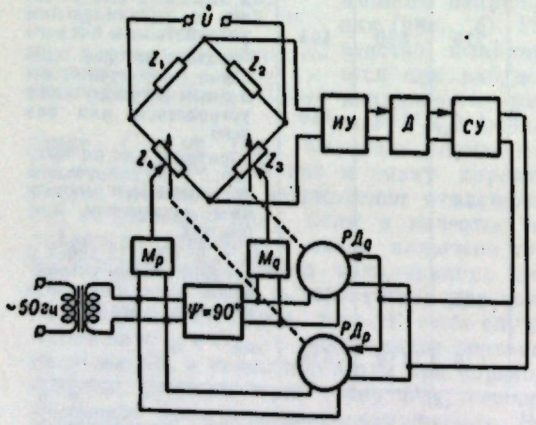


Рис. 3. Схема моста с поиском минимума при фазовой селекции сигналов управления регулирующими органами: *НУ* — избирательный усилитель; *Д* — детектор; *СУ* — сервоусилитель; *РД* — реверсивный двигатель; M_p, M_q — модуляторы.

функции 2 перем., поэтому в основу системы уравновешивания М. п. т. принципиально может быть положен любой способ отыскания экстремума, используемый в двухканальных оптимизаторах и экстремальных регуляторах. В схеме М. п. т. с фазовой селекцией сигналов управления параметрич. модуляторами M_p и M_q (рис. 3) непрерывно модулируются регулируемые параметры p и q с небольшой (по сравнению с модулем сопротивления соответствующего плеча) амплитудой. Модуляторами управляют напряжения частотой 50 *гц* (частота питания мостовой схемы много больше), сдвинутые по фазе на 90°.

М. п. т. с уравновешиванием двумя параметрами наиболее пригодны для точного одновременного измерения обеих составляющих комплексного сопротивления на частотах от десятков *гц* до десятков *кгц*. Они применяются: в качестве вторичных приборов для работы с датчиками, у к-рых изменяются обе составляющие комплексного сопротивления (электролитич. ячейки, емкостные датчики влажности, датчики, основанные на возбуждении вихревых токов, и др.); для контроля конденсаторов (одновременно по емкости и углу потерь) и катушек индуктивности (по индуктивности и добротности); для проверки изоляции высоковольтных аппаратов; при длительных исследованиях электрич. и магнитных хар-к материалов и т. п.

В *мостах квазиуравновешенных* в результате регулировки перем. параметров устанавливаются определ. модульные и фазовые соотношения между напряжениями на элементах мостовой схемы.

Лит.: Карандеев К. Б., Мостовые методы измерений, Киев, 1953; Бутусов И. В., Автоматические контрольно-измерительные и регулирующие приборы, 2 изд., Л., 1961; Карандеев К. Б., Штамбергер Г. А., Обобщенная теория мостовых цепей переменного тока, Новосибирск, 1961; Шумиловский Н. Н., Киеллер В. Ю., О мостах переменного тока с автоматическим уравновешиванием двумя параметрами, «ИВУЗ. Приборостроение», 1958, № 3; Гриневич Ф. Б., Автоматические мосты с экстремальным регулированием при фазовой селекции регулирующих воздействий, «ИТ» 1962, № 2. *В. Ю. Киеллер.*

МОСТ ПОЛУУРАВНОВЕШЕННЫЙ (semi-balanced bridge; pont semi-équilibré; halbabgeglichene Brücke) — см. *Мост квазиуравновешенный.*

МОСТ ПРОЦЕНТНЫЙ (percent deviation bridge; pont de pourcentage de déviation; Prozent-Brücke) — разновидность измерит. моста, при помощи к-рого измеряется не полное значение сопротивления, а процентное отклонение сопротивления объекта измерения от заданного номин. значения. М. п. применяются для определения соответствия сопротивления контролируемого объекта заданному полю допуска. М. п. могут работать как в уравновешенном (переменное плечо градуируется в %), так и в неуравновешенном (отсчет по отклонению указателя) режиме. В последнем случае показания М. п. зависят от значения питающего напряжения; поэтому для питания М. п. часто применяют стабилизаторы. Больше распространены М. п. пост. тока, служащие для пром. контроля и разбраковки сопротивлений. Разработаны также и М. п. перем. тока, позволяющие контролировать емкости и индуктивности, напр. при произ-ве радиодеталей.

Лит.: Карандеев К. В., Мостовые методы измерений, Киев, 1953; Грицькив Р. Д., Техника измерения индуктивности катушек с ферромагнитными сердечниками, Львов, 1957. *К. Б. Карандеев.*

МОСТ РЕЗОНАНСНЫЙ (resonance bridge; pont à resonance; Resonanzbrücke) — измерительный мост переменного тока, три плеча к-рого состоят из активных сопротивлений, а четвертое реактивное — из последовательно (резонанс напряжений) или параллельно соединенных емкости и индуктивности, одна из к-рых обязательно должна быть переменной. Регулируя переменный параметр L или C, настраивают реактивное плечо в резонанс. При резонансе реактивное плечо ведет себя как чисто активное сопротивление. Затем изменением сопротивления одного из трех активных плеч уравновешивают мост в целом.

При резонансе реактивного плеча и одновременном равновесии моста соблюдаются два следующих условия:

$$\omega L = 1/\omega C;\ R_1R_3 = R_2R_4,$$

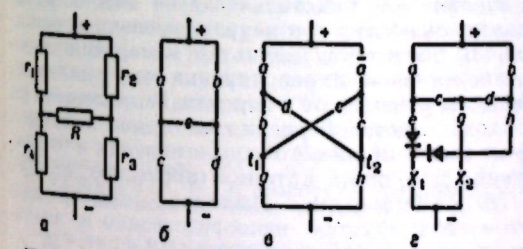
где ω — частота напряжения питания моста; R_1, R_2, R_3, R_4 — сопротивления трех активных плеч и эквивалентное активное сопротивление реактивного плеча при резонансе.

М. р. относительно широко применяются: для измерения частоты, анализа формы кривой напряжения и тока, контроля устойчивости частоты, числа оборотов и пр.; непосредственного применения в обычной измерительной практике для измерения L и C они не получили.

Лит.: Куренев С. И., О чувствительности мостов постоянного и переменного тока, «Изв. Ленингр. электротехн. ин-та», 1939, в. 21; Карандеев К. Б., Мостовые методы измерений, Киев, 1953. *К. Б. Карандеев.*

МОСТОВАЯ СТРУКТУРА (bridge structure; montage en pont; Brückenstruktur) — соединение двухполюсных элементов электрич. схемы, при к-ром при проведении по этим элементам между какой-либо парой внешних (входных или выходных) полюсов всевозможных путей, не проходящих дважды через один узел, имеется один или неск. элементов (наз. мостиковыми), через к-рые отдельные пути проходят во встречных направлениях.

В схеме из элементов двухсторонней проводимости направление тока в мостиковом элементе зависит от того, в какой цепи находится этот элемент при данном состоянии элементов устройства. В М. с. в зависимости от состояния отдельных элементов нек-рые элементы могут оказаться соединенными то параллельно, то последовательно. В простейшей четырехплечей М. с. (рис. 1, *а*) при «равновесии», т. е. соблюдении соотношения



Примеры мостиковых структур: *а* — из сопротивлений; *б* — плоская контактная; *в* — неплоская контактная; *г* — неплоская релейная; *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *g*, *h* — контакты; X_1, X_2 — реагирующие органы.

сопротивления плеч (элементов, подключенных к полюсам) $r_1r_3 = r_2r_4$, ток через мостиковый элемент R не проходит. Это свойство используется в ряде измерит. приборов и датчиков. При сопротивлениях $r_2 = r_4 = 0$ элементы r_1, R и r_3 соединены параллельно, а при $r_2 = r_4 = \infty$ — последовательно. М. с., к-рая не может быть изображена на плоскости без пересечения проводов (рис., *в*, *г*), наз. неплоской (пространственной, непланарной). Контактная М. с. (структура класса I), в отличие от последовательно-параллельной структуры (класса II), не может быть описана логич. формулой и для ее записи пользуются *структурными матрицами* или ф-лами с использованием знаков *многополюсного соединения релейных цепей*: последоват. (⋮|⋮) или параллельного (#). Так, схема рис., *в* запишется матрицей:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & a & 0 & \bar{a} & 0 \\ 0 & 1 & 0 & g & 0 & h \\ a & 0 & 1 & b & 0 & d \\ 0 & g & b & 1 & e & 0 \\ \bar{a} & 0 & 0 & e & 1 & c \\ 0 & h & d & 0 & c & 1 \end{bmatrix}$$

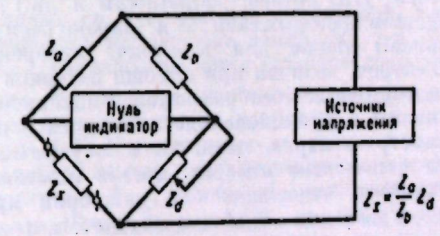
или ф-лой:

$$F = [a(bt_1 + dt_2) + \bar{a}(et_1 + ct_2)] \vdots\vdots (t_1g + t_2h).$$

Как правило, реализация условий работы с помощью контактной М. с. оказывается более экономной, чем реализация тех же условий с помощью *параллельно-последовательных структур*. Однако ввиду отсутствия взаимно-однозначного соответствия между М. с. и логич. ф-лой проблема построения М. с. математически гораздо более сложна. Известен ряд методов построения М. с., использующих матричное исчисление, теорию графов и т. д. (подробней см. *Синтез релейных устройств*).

Лит.: Гаврилов М. А., Теория релейно-контактных схем, М.—Л., 1950; Рогинский В. Н., Элементы структурного синтеза релейных схем управления, М., 1959. *В. Н. Рогинский.*

МОСТОВАЯ СХЕМА (bridge circuit; circuit en pont; Brückenschaltung) — схема соединения элементов электрич. цепи (сопротивлений,



выпрямит. диодов, электронных ламп и др.), характеризующаяся наличием мостовой ветви между двумя точками схемы, не соединенными непосредственно с источником электрич. энергии. В основу М. с. положена схема моста Уитстона (рис.). Принцип действия М. с. основан на том, что при равенстве отношений полных сопротивлений в плечах моста $\frac{Z_a}{Z_b} = \frac{Z_x}{Z_d}$ в диагонали моста (в индикаторном устройстве) нет тока. Повышая чувствительность нуль-индикатора, можно добиться в М. с. весьма точного соблюдения равенства отношений полных сопротивлений. На этом принципе основаны *мостовые измерения*. Источниками питания М. с. могут служить источники напряжения как пост., так и перем. тока. Балансировка М. с. совершенно не зависит от колебаний напряжения источника питания.

М. с. широко применяются для измерений параметров электронных ламп и, в частности, для измерений внутр. сопротивления лампы R_i, коэфф. усиления μ и крутизны лампы S. В этом случае М. с. питается от генератора к.-л. фиксиров. звуковой частоты через тр-р, а индикатором баланса моста служит телефон. При измерении внутр. сопротивления лампа

включается в одно из плеч моста. Подбором сопротивления и компенсирующей емкости добиваются баланса М. с. Сопротивление R_f при этом определяется величиной перем. сопротивления в параллельном плече схемы. При измерении коэфф. усиления лампа включается в вершину моста т. о., чтобы катодная цепь лампы служила диагональю моста.

М. с. широко применяются в схемах выпрямителей. Хотя они и требуют в два раза больше вентильных элементов по сравнению с двухполупериодной схемой выпрямителя, но напряжение, прилагаемое к каждому детектору (прямое и обратное), снижается вдвое. Кроме того, почти вдвое облегчается рабочий режим силового тр-ра; указанное особенно существенно для мощных и высоковольтных выпрямителей. Применение М. с. при необходимости сравнения напряжений по частоте позволяет создать чувствительные *детекторы частотные* и *детекторы фазовые* (дискриминаторы). М. с. используются в *модуляторах балансных* для получения одной или двух боковых полос с подавлением несущей.

Лит.: Ремез Г. А., Курс основных радиотехнических измерений, М., 1955; Справочник по радиотехнике, под общ. ред. Б. А. Смиренина, М.—Л., 1950; Кориндорф С. Ф., Бернштейн А. С., Ярославский М. И., Радиотехнические измерения, 2 изд., М.—Л., 1956.

В. И. Шебанов.

МОСТОВЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ (bridge measurements; mesures par pont; Brückenmessungen)— методы измерения параметров электрич. цепей на пост. токе (сопротивления пост. току) и на перем. токе (активного сопротивления, емкости, индуктивности, взаимной индуктивности, частоты, угла потерь, добротности и др.) посредством мостовых схем. М. и. широко распространены также для электрич. измерений неэлектрич. величин при помощи датчиков — промежуточных преобразователей измеряемой величины в функционально связанный с ней параметр электрич. цепи. М. и. осуществляются с помощью измерит. мостов (мостовых установок), относящихся к категории приборов сравнения. В общем случае М. и. основаны на применении нек-рой электрич. цепи, состоящей из неск. известных и одного неизвестного (измеряемого) сопротивлений, питаемой одним источником и снабженной указывающим прибором. Изменением известных сопротивлений эта цепь регулируется до достижения определенного, отмечаемого указателем, распределения напряжений на отдельных участках цепи. Очевидно, что заданному соотношению напряжений соответствует также определенное соотношение сопротивлений цепи, по к-рому можно вычислить неизвестное сопротивление, если остальные сопротивления известны.

Исторически первый, простейший и наиболее распространенный вариант М. и. был реализован посредством четырехплечего уравновешенного моста, представляющего собой кольцевую цепь из 4 сопротивлений («плечи» моста), в к-рой источник питания и указатель включаются диагонально, к противолежащим вершинам, в виде «мостов» (рис. 1). При соблюдении условия $R_1R_3=R_2R_4$ (соответственно $Z_1Z_2=Z_3Z_4$ на перем. токе) напряжение на выходе мостовой цепи (независимо от питающего напряжения) равно нулю ($U_{cd}=0$), т. е. мост «уравновешен», что отмечается нулевым указателем.

Состояние равновесия моста пост. тока, соответствующее условию, $R_1R_3=R_2R_4$, может быть достигнуто регулировкой только одного перем. параметра и позволяет определить также только одно неизвестное сопротивление. Для достижения комплексного условия равновесия на перем. токе ($Z_1Z_3=Z_2Z_4$), распадающегося при подстановке комплексных значений сопротивлений $Z=R+jx=ze^{j\varphi}$ на два самостоят. условия, требуется регулировка не менее двух перем. параметров; при этом можно одновременно определять две составляющие комплексного сопротивления (напр., L и R или L и Q, C и tgδ и т. д.). Разновидностью четырехплечих мостов перем. тока являются *мосты резонансные*. Помимо четырехплечих,

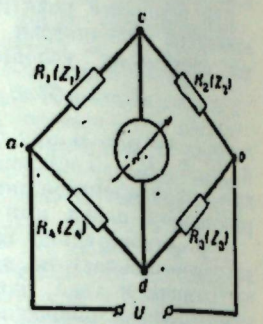


Рис. 1.

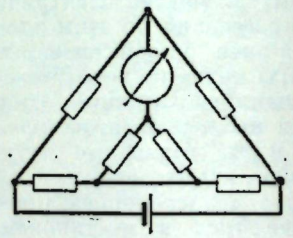


Рис. 2.

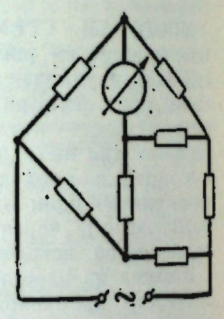


Рис. 3

применяются более сложные мостовые цепи — двойные мосты на пост. токе (рис. 2) и многоплечие (шести- или семиплечие) — на переменном (напр., рис. 3). Условия равновесия для этих цепей, естественно, отличаются от приведенных выше.

Мосты могут использоваться как в уравновешенном, так и в неуравновешенном режиме. В последнем результат измерения определяется без к.-л. регулировки сопротивлений, непосредственно по току или напряжению на выходе мостовой цепи, которые являются ф-циями измеряемого сопротивления и напряжения источника питания (последнее должно быть стабильным). Выходной прибор при этом градуируется непосредственно в значениях измеряемой величины.

М. и. на перем. токе могут применяться еще в двух режимах: квазиуравновешенном (см. *Мост квазиуравновешенный*) и полууравновешенном. Последний характеризуется тем, что обычная четырехплечая цепь (рис. 1) регулируется при помощи только одного перем. параметра до получения минимального выходного напряжения (полное равновесие, т. е. $U_{cd}=0$, при к-ром требуется регулировка двух параметров, в данном случае недостижимо). Момент достижения минимума напряжения U_{cd} может быть определен непосредственно обычным указателем на выходе цепи или более точно — косвенно — на основании к.-л. (напр., фазовых) соотношений векторов напряжений мостовой цепи, имеющих место в момент полуравновесия. Во втором случае эксперимент и указывающая аппаратура аналогичны применяемым при квазиуравновешенном режиме. Составляющие измеряемого сопротивления определяются: одна — по значению перем. параметра в момент полуравновесия, другая — по напряжению на выходе моста; напряжение питания необходимо стабилизировать. Уравновешивание измерит. мостов может производиться как непосредственно человеком (мосты с ручной наводкой), так и при помощи автоматич. устройства (автоматич. мосты). М. и. применяются как для измерения значений сопротивлений, так и для определения отклонений этих значений от заданного номинала (см. *Мост процентный*). М. и. относятся к числу самых распространенных и совершенных методов измерения; серийно выпускаемые мосты имеют классы точности от 0,02 до 5 на пост. токе и от 0,1 до 5 — на переменном.

Лит.: Карандеев К. Б., Мостовые методы измерений, Киев, 1953; Hague B., Alternating current bridge methods, 5 ed., L., 1957; Карандеев К. Б., Штамбергер Г. А., Обобщенная теория мостовых цепей переменного тока, Новосибирск, 1961.

К. Б. Карандеев.

МОСТОВЫХ СХЕМ РАЗДЕЛЬНОЕ УРАВНОВЕШИВАНИЕ (на переменном токе) [A. C. (alternating current) bridge circuit separate balancing; equilibrage séparé de circuits en pont (à courant alternatif); getrennter Abgleich von Brückenschaltungen (in Bezug auf Wechselstrom)] — способ уравновешивания измерит. моста перем. тока, при к-ром равновесие моста достигается путем поочередного изменения двух перем. параметров. При этом равновесие достигается теоретически в два приема: сначала изменяется первый до достижения миним. отклонения указателя равновесия, затем изменяется др. перем. параметр до достижения нулевого отклонения указателя. Иногда условие раздельного уравновешивания (РУ) связывают с характером мостовой цепи — наличием того или иного числа комплексных плеч, их расположением и др. Однако любая мостовая цепь может быть приведена к режиму РУ. Единственным условием для этого является применение спец. указателя. РУ технически очень упрощает процесс уравновешивания моста; однако при этом возрастает погрешность за счет шунтирования некоторых плеч указателем. Принципы РУ используются для автоматизации мостов перем. тока.

Лит.: Карандеев К. Б., Мостовые методы измерений, Киев, 1953; Швецкий Б. И., К вопросу об уравновешивании мостов переменного тока, «Э-во», 1953, № 4.

К. Б. Карандеев.

МУЛЬТИВИБРАТОР (multivibrator; multivibreur; Multivibrator) — двухкаскадный генератор релаксационных колебаний с резистивноемкостными связями, создающий разрывные колебания почти прямоугольной формы. М. широко применяется в радиотехнике, автоматике и телемеханике. Схемы М. просты и надежны. В автоколебательном режиме колебания М. легко синхронизируются напряжениями различной формы. М. используется для получения колебаний с крутыми перепадами, богатых гармониками, а также для умножения и деления частоты. Ждущий М. служит формирователем и расширителем импульсов, элементом пост. и регулируемой задержки, применяется в схемах широтно-импульсной и фазо-импульсной модуляции. В качестве активных усиливающих элементов в схеме М. могут быть использованы как электронные лампы, так и транзисторы. В типичной схеме М. на лампах (рис. 1,*а*) в момент включения обе лампы открыты, однако «равновесие» схемы неустойчиво, т. к. всегда существуют возмущения (флюктуац. характера), вызывающие увеличение тока одной из ламп (например, $Л_1$) относительно др. и, следовательно, уменьшение напряжения на ее аноде. Это уменьшение передается через

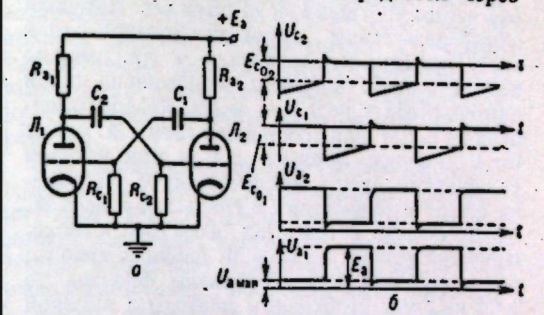


Рис. 1. Мультивибратор на триодах: *а* — схема; *б* — эпюры напряжений.

конденсатор связи C_2 на сетку $Л_2$, приводя к уменьшению ее тока и увеличению напряжения на аноде. Последнее передается через C_1 на сетку $Л_1$, приводя к еще большему увеличению случайно появившейся несимметрии. Этот процесс протекает лавинообразно. Через промежуток времени, измеряемый долями *мксек*, первая лампа окажется полностью открытой, а вторая — полностью запертой. Возникает состояние, также неустойчивое, но со значительно более медленным ходом процессов. Конденсатор C_2, зарядившийся за время скачка до напряжения, значительно превышающего напряжение запирания 2-й лампы $E_{c_{02}}$, разряжается через сеточное сопротивление R_{c_2} и параллельно соединенные анодное и внутреннее сопротивления 1-й лампы (рис. 1,*б*). Когда отрицат. напряжение на сетке запертой лампы, уменьшаясь по абс. величине, достигает $E_{c_{02}}$, лампа $Л_2$ начинает открываться. Уменьшение напряжения на аноде $Л_2$ передается на сетку $Л_1$, приводя к уменьшению ее тока, увеличению напряжения на аноде и дальнейшему повышению напряжения на сетке $Л_2$. Возникают условия для второго, «обратного» скачка, также занимающего доли *мксек*. В результате второго скачка $Л_1$ оказывается запертой, а $Л_2$ открытой. Новое состояние снова неустойчиво. Время его существования определяется величинами емкости C_1, сопротивлений R_{c_1}, R_{a_2} и внутр. сопротивления $Л_2$. Окончание разряда C_1 приводит к новому скачку, после к-рого схема возвращается в состояние, когда заперта $Л_2$. Описанный цикл повторяется снова и снова. Напряжение на аноде каждой из ламп имеет форму, весьма близкую к прямоугольной, и может быть использовано в качестве выходного. В симметричном М. длительности положит. и отрицат. импульсов одинаковы. Кроме основной частоты, период к-рой определяется для симметричного М. удвоенным временем разряда конденсатора связи, в спектре такого напряжения имеют место все нечетные гармоники, убывающие по амплитуде, как нечетные числа числового ряда. В схемах умножения частоты практически удается выделить из колебаний симметричного М. до 50 составляющих.

В общем случае несимметричного М. период основных колебаний может быть вычислен по приближ. ф-ле:

$$T \approx \tau_{c_1} \ln K_1 + \tau_{c_2} \ln K_2,$$

где K_1 и K_2 — коэфф. усиления каскадов по пост. току; τ_{c_1} и τ_{c_2} — пост. времени разряда конденсаторов связи плеч.

М. может генерировать колебания с основной частотой от долей *гц* до сотен *кгц*. Нарушая симметрию схемы путем увеличения одной пост. времени по сравнению с др. можно получить от М. импульсы сравнительно малой длительности τ_0 до 0,1—1 *мксек*. Коэфф. заполнения $\gamma = \tau_0/T$ для простейшей схемы М. может быть получен порядка 0,1, а при нек-ром усложнении схемы доведен до 0,01. Крутизна фронтов нарастания и спада импульсов М. лежит обычно в пределах 500—1000 *в/мксек*. Наиболее удобны в схеме М. двойные триоды; для получения макс. крутизны фронтов до 3—4 *ка/мксек* необходимы пентоды с высокой крутизной. Стабильность частоты основных колебаний простейшей схемы — в пределах единиц %; ее можно повысить применением схемы М. с положит. смещением, термостабилизации и термокомпенсации в элементах, определяющих постоянные времени зарядов, стабилизацией питающих напряжений схемы и внешней синхронизацией. Частота синхронизирующих колебаний должна быть неск. выше собственной частоты колебаний М., их форма может быть как импульсной, так и синусоидальной. В простейшем случае синхронизирующее напряжение подается в цепь сетки одной из ламп М. Частота колебаний синхронизированного М. равна частоте синхронизирующего напряжения, а стабильность частоты М. определяется стабильностью частоты генератора синхронизирующего напряжения. Свойство М. легко синхронизироваться лежит в основе использования схемы М. в качестве делителя частоты. В этом случае синхронизирующее напряжение имеет частоту

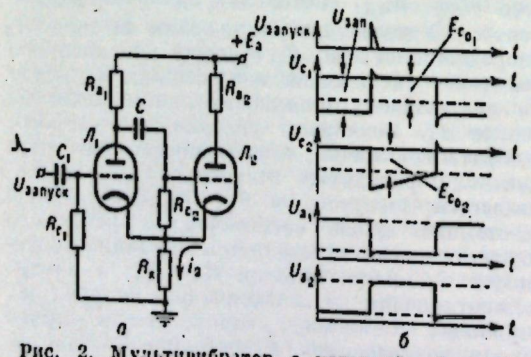


Рис. 2. Мультивибратор с катодной обратной связью: *а* — вариант схемы; *б* — эпюры напряжений в режиме ждущего мультивибратора.

прибл. кратную собств. частоте колебаний М. Устойчивость деления частоты уменьшается с увеличением коэфф. деления, однако десятикратное деление частоты практически вполне осуществимо.

Одна из наиболее распространенных схем М.— схема с катодной связью (рис. 2). При определ. соотношениях между параметрами процессы в ней те же, что и в схеме рис. 1,*а*. Наиболее распространена схема рис. 2,*а*, работающая в «ждущем» режиме; после включения питающих напряжений в такой схеме наступает устойчивое состояние неограниченной продолжительности: $Л_2$ открыта и ее ток на сопротивлении $R_к$ создает напряжение, достаточное для запирания $Л_1$. Конденсатор C заряжен до напряжения $E_a - i_2 R_к$. Схема запускается подачей положит. импульса на сетку $Л_1$ (отрицат.— на сетку $Л_2$) с амплитудой, превышающей разницу между запирающим напряжением $U_{зап} = i_2 R_к$ и напряжением $E_{c_{01}}$ запирания $Л_1$. Наличие положит. обратной связи обусловливает скачкообразный переход схемы при запуске в неустойчивое состояние, при к-ром $Л_2$ заперта, а $Л_1$ открыта. Это состояние поддерживается, пока существует запирающее напряжение на сопротивлении R_{c_2} от тока разряда конденсатора C. В момент достижения напряжением на R_{c_2} величины $E_{c_{02}}$ схема скачком возвращается в исходное устойчивое состояние. Повторение цикла возможно снова только при наличии запускающего импульса. Т. о., схема ждущего М. на каждый запуск отвечает импульсом анодного напряжения прямоуг. формы с длительностью

$$T \approx C R_{c_2} \ln |(E_a - i_2 R_к - U_{a\,min})/E_{c_{02}}|,$$

практич. T от долей сек. до долей *мксек*.

Поскольку задний фронт выходного импульса оказывается задержанным на время T относит. переднего фронта запускающего импульса схемы ждущего М. часто применяются для задержки импульсов.

Простейшие схемы имеют нестабильность T порядка единиц %; при существенном усложнении схемы — до десятых %; однако в таких случаях целесообразнее применение устройств типа *фантастрона* или *санатрона*. Величину задержки можно регулировать переменными R_{c_2} и C или изменяющимся по нужному закону напряжением смещения на сетку $Л_1$. Время опрокидывания и восстановления, длительность и крутизна фронтов импульсов ждущего М. определяется теми же факторами, что и обычного. Схемы запуска и требования к форме запускающих напряжений ждущего М. сходны с аналогичными для М. в режиме автогенерации при его синхронизации.

Широкое применение в схемах М., наряду с электронными лампами, получили транзисторы. Основные принципы работы М. на транзисторах те же, что и М. на электронных лампах, весьма сходны и конфигурации схем. Различия вытекают из особенностей транзисторов. Сопротивление запертого транзистора имеет, в отличие от лампы, конечное значение и наряду с факторами, указанными для лампового варианта М., определяет собой длительность плоской части импульса. При расчетах ограничиваются учетом сопротивления запертого коллекторного перехода r_{k_2}; для симметричного М. на транзисторах постоянная времени разряда

$$\tau_1 \approx (R_c r_{k_2} C)/(R_c + r_{k_2}).$$

В транзисторных схемах М. источники напряжений запуска и синхронизации более мощны; предусматриваются дополнит. элементы развязки. Протекание и скорость процесса опрокидывания для транзисторных схем М. определяется не столько паразитными емкостями, сколько характером движения носителей. Соответственно для уменьшения длительности перепадов предпочтительны

транзисторы с большим коэфф. усиления по току и высокой предельной частотой; необходимо принимать меры против насыщения проводящего (открытого) транзистора, чаще всего посредством фиксирующих диодов. Практически удается получить длительности опрокидывания порядка долей *мксек* и частоты повторения порядка единиц *Мгц*. Когда высокие частоты переключения не требуются, ненасыщенных схем следует избегать, т. к. они значительно менее помехоустойчивы.

Лит.: Меерович Л. А., Зеличенко Л. Г., Импульсная техника, М., 1953; Петрович И. Т., Козырев А. В., Генерирование и преобразование электрических импульсов М., 1954; Гальперин Е. И., Сулицкий Ю. Н., Полупроводниковые логические переключающие схемы, М., 1960.

Ю. В. Хомич.

МУЛЬТИПРОГРАММИРОВАНИЕ (multiprogramming; programmation multiple; Mehrfachprogrammierung) — способ организации работы ЦВМ, обеспечивающий одновременное решение нескольких задач. М. возникло в связи с созданием мощных вычислит. систем типа «Ларк», «Стретч» (США), «Атлас» (Англия) и т. п. Для таких ЦВМ характерно наличие: а) центр. устройств переработки информации (ЦУПИ) со скоростями до 1 млн. арифметич. действий в сек.; б) оперативных ЗУ (ОЗУ) емкостью до 100 тыс. слов; в) промежуточных ЗУ на десятки млн. слов и г) большого количества разнообразных устройств ввода — вывода (УВВ). В повышении общей производительности этих ЦВМ существ. роль сыграло изменение их логич. структуры в направлении автономности и параллелизма работы отдельных устройств машины. Напр., одновременно с вычислениями, выполняемыми одним или несколькими ЦУПИ, могут происходить обмены информацией между ОЗУ, с одной стороны, и промежуточными ЗУ и УВВ — с др.

Эти ЦВМ способны быстро решать большие и разнообразные задачи науки, техники, экономики. Однако при решении одной конкретной задачи столь широкая универсальность ЦВМ используется неполностью и отдельные ее устройства оказываются недогруженными. Напр., одни задачи требуют большого количества вычислений и малого ввода — вывода, др.— наоборот. В первом случае будут простаивать УВВ, во втором — ЦУПИ. Особенно длительными будут простои отдельных устройств при решении малых задач. Кроме того, в нек-рых случаях определение данных, к-рые потребуются в ближайшем будущем, может быть сделано только в процессе вычислений и поэтому команды на их ввод не могут быть выданы заранее.

М. возникло как средство более эффективного использования ЦВМ. Решая сразу несколько задач, варьируя их количество и характер, можно добиться более равномерной загрузки отдельных устройств и более высокой производительности ЦВМ в целом. Однако М. не должно накладывать к.-л. ограничения на программирование задач и порождать трудности при их решении. Оно не должно предъявлять новых требований к обслуживающему персоналу. Поэтому осн. требования к М.: 1) каждая программа должна быть лишена возможности вносить ошибки в др. программы; 2) М. должно допускать написание и автоматич. составление программ совершенно независимо друг от друга без учета возможности их дальнейшей совместной работы; 3) для того чтобы данная программа могла быть включена в совместную работу, от программиста не должно требоваться никакой дополнит. информации. В то же время он должен иметь возможность задать информацию для более экономичного подключения данной программы в общую систему; 4) распределение места в ЗУ, закрепление тех или иных УВВ за программами, распределение времени работы отдельных устройств между программами должны делаться автоматически; 5) также автоматически должен определяться порядок выполнения программ с учетом старшинства программ, задаваемого обслуживающим персоналом.

При мультипрограммной работе в ЦВМ одновременно находятся программы нескольких задач. Предположим, что ЦУПИ в данный момент выполняет программу одной из задач. Когда возникает задержка в процессе ее выполнения (напр., из-за ожидания вводимых данных), происходит переключение на др. задачу. Вся информация, необходимая для продолжения прерванной задачи, сохраняется. Новая задача решается до тех пор, пока сама не будет задержана или пока не исчезнет причина задержки в одной из ранее решавшихся задач. Переключения с задачи на задачу могут также происходить по сигналам оператора с пульта управления, при поступлении сигналов и информации от внешних объектов при израсходовании отведенного времени, при различных неправильностях в работе программы (деление на 0 и т. п.) или в работе самой ЦВМ.

В процессе работы один устройства могут жестко закрепляться за теми или иными программами (разделение в пространстве), другие — использоваться разными программами в различные интервалы времени (разделение во времени).

Бо́льшая часть логики М. реализуется с помощью спец. программы-диспетчера, к-рая постоянно находится в ЦВМ. Однако нек-рая логика должна быть реализована аппаратно, ибо в противном случае программа-диспетчер будет расходовать много машинного времени, что сведет на нет выигрыш, получаемый от совместного решения многих задач. В частности, для эффективности М. аппаратно должны быть реализованы система прерывания программ (СПП) и система защиты ОЗУ.

СПП позволяет ЦУПИ реагировать на произвольно поступающие сигналы переходом к той или иной программе в зависимости от сигнала. Т. о., ЦУПИ получает возможность быстро реагировать на различные обстоятельства, к-рые могут возникать в любое время, и продолжать полезную работу, пока такие обстоятельства не возникли. Этими обстоятельствами чаще всего будут сигналы от УВВ (напр., «Операция ввода — вывода завершена, и УВВ готово получить новый заказ на работу»), сигналы о выходе результатов из диапазона представимых чисел, о нулевых делителях, сигналы с пульта управления, сигналы от контрольных схем о сбоях ЦВМ и т. п.

СПП позволяет, во-первых, программно управлять работой УВВ, во-вторых, программно производить анализ и принимать те или иные меры в таких ситуациях, к-рые иначе должны приводить к аварийным остановкам ЦВМ. Разумеется, каждый раз, когда к.-л.

программа прерывается с помощью СПП, сохраняется информация, необходимая для продолжения работы по прерванной программе в дальнейшем.

Система защиты ОЗУ контролирует все обращения ЦУПИ к ОЗУ и при попытке обратиться в защищ. области посылает сигнал в СПП, что приводит к прерыванию выполняемой программы. С помощью системы защиты без к.-л. ограничений на программирование могут быть защищены друг от друга различные задачи, одновременно находящиеся в ОЗУ. Кроме того, система защиты позволяет защищать те области ОЗУ, к-рые хотя и принадлежат работающей в данный момент программе, но временно недоступны ей, напр., из-за того, что в эти области производится ввод. Помимо лучшего использования оборудования ЦВМ, М. облегчает отладку программ и решение нек-рых задач, где желательна непосредств. связь человека с работающей программой.

Лит.: Кибернетический сборник. 2. Сб. переводов, М., 1961, с. 127—37; Computers-key to total system control. Proceedings of the eastern joint computer conference. Waschington, dec. 12—14. 1961, v. 2, N. Y., [1961], p. 279—94. *В. С. Штаркман.*

МУФТА (coupling; manchon; Muffe) — устройство, служащее для передачи крутящего момента с одного (ведущего, входного) вала на другой (ведомый, выходной). М. делятся на неуправляемые и управляемые (с электрич.,

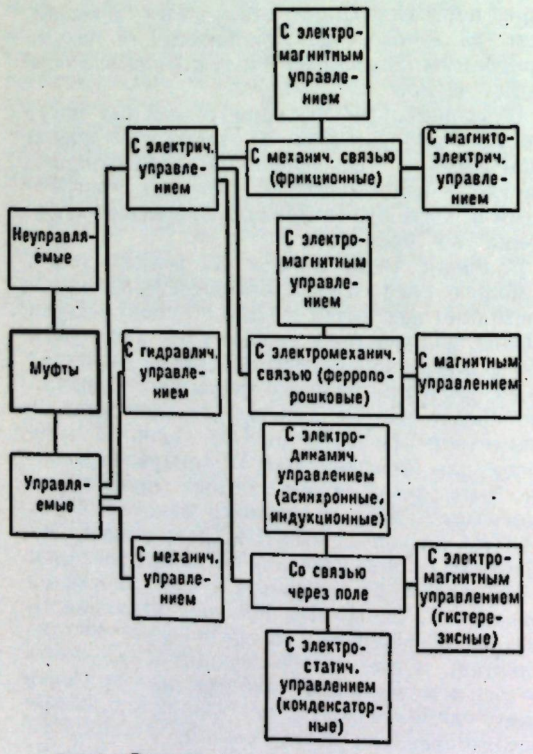
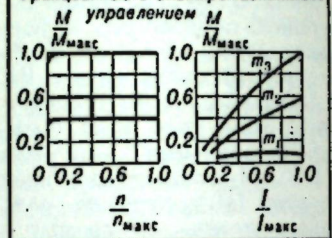
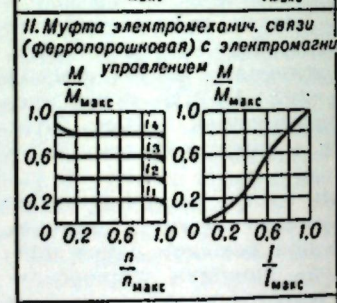
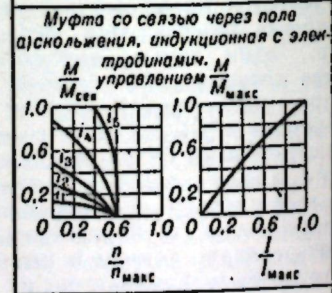
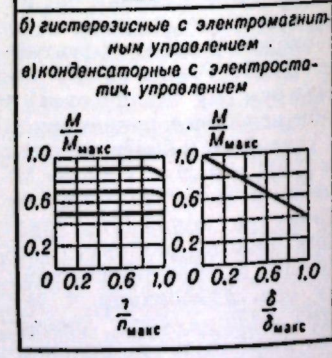


Рис. 1. Классификация муфт.

гидравлич. и механич. управлением). Применение управляемых М. наиболее целесообразно в тех случаях, когда: 1) требуются малый вес, низкая стоимость и простота, 2) при этом должны быть обеспечены быстродействие, большой коэфф. усиления по мощности, большая работоспособность и 3) допустимы внезапные скачки нагрузки.

М. с электрич. управлением бывают фрикционные — с механич. связью, ферропорошковые — с электромеханич. связью, со связью через поле — М. скольжения, конденсаторные, гистерезисные. Во фрикц. М. мощность передается силами трения, в ферропорошковой — частично механич. трением, частично — магнитной связью, в М. со связью через поле — через магнитное и электрич. поля. Классификация М. дана на рис. 1. Первым этапом классификации является управляемость М., далее — род управляющей энергии, характер связи входного и выходного элемента и, наконец, принцип управления.

Осн. хар-ки М. — зависимость допустимого передаваемого момента от тока управления и от скорости (табл.). Почти все они, в большей или меньшей степени, нелинейны. Хар-ки дифференц. схемы соединения муфт (рис. 2) обеспечивают реверс выходного вала при вращении входного вала в одну сторону.

Хар-ки муфт с электрич. управлением. Статические	Характер работ	Использование
I. Муфты механич. связи Фрикционные с электромагнитным управлением 	Включено — выключено	В следящих системах и приводах подач ограничь. перемещений
II. Муфта электромеханич. связи (ферропорошковая) с электромагнитным управлением 	Включено — выключено и скольжение	1. В следящих системах и приводах подач ограничь. перемещений 2. В пусковых устройствах тяжелых машин 3. В динамометрич. устройствах
Муфта со связью через поле а) скольжения, индукционная с электродинамич. управлением 	Скольжение	В приводах для управления механизмами с вентиляторным моментом для регулирования скорости ведомого вала
б) гистерезисные с электромагнитным управлением *в) конденсаторные с электростатич. управлением* 	а) Включено — выключено и скольжение	1) В маломощных следящих системах (регулирование натяжения тонких лент и нитей) 2) В приборах в качестве ограничителя момента 3) Динамометрич. устройства
	б) Включено — выключено и скольжение	В быстродействующих маломощных следящих системах и приборах

В М. обычно имеет место скольжение и выделение тепла. Зависимость мощности, теряемой при скольжении, определяется ф-лой:

$P_s=(\frac{\omega_1}{\omega_2}-1)P_2$, где P_s — мощность, теряемая при скольжении, ω_1 — скорость входного вала, ω_2 — скорость выходного вала, P_2 — передаваемая мощность.

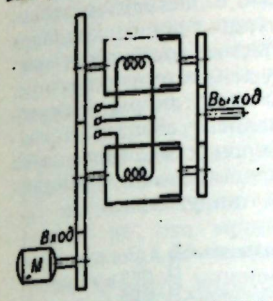


Рис. 2. Реверсивная схема соединения муфт.

Кпд муфты $\eta=\frac{P_2}{P_1}=\frac{M_2\omega_2}{M_1\omega_1}=\frac{\omega_2}{\omega_1}$, где мощность на входе $P_1=P_2+P_s$, или, т. к. скольжение $S=\frac{\omega_1-\omega_2}{\omega_1}100$, то $\eta=1-\frac{S}{100}$.

Быстродействие фрикц. и порошковых М. примерно одинаково: время включения — от 0,03 до 0,25 сек., время отключения — от 0,01 до 0,35 сек. Наименее быстродействующими являются М. скольжения (0,15—0,45 сек.).

Ф р и к ц и о н н а я М. (с механич. связью) обеспечивает передачу мощности с одного вала на др. через диски трения, к-рые в рабочем положении плотно прижаты друг к другу. Диски выполняют из фрикц. материала: мягкого — для эксплуатации в длительном режиме и твердого — для режима включено — выключено, когда макс. момент передается в короткие интервалы времени. При мягких фрикц. материалах обеспечивается плавное управление и больший передаваемый крутящий момент, но диски быстро изнашиваются, и М. становится ненадежной. В режиме включено — выключено неплавность управления может быть сглажена применением обратной связи по скорости.

Правильный выбор материалов фрикц. дисков обеспечивает надежное управление при 10^6 включениях М. Мощность управления фрикц. М., как правило, $\leqslant$500—1000 *вт*, коэфф. усиления по мощности — 200—2000, время переходного процесса от 1 до 35 *мсек*.

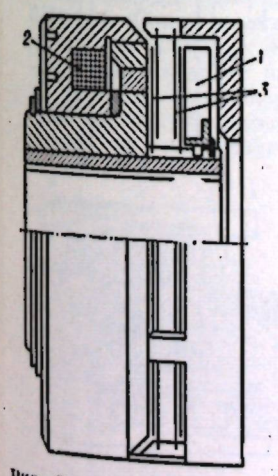


Рис. 3. Контактная муфта с магнитопроводящими дисками.

М у ф т ы к о н т а к т н ы е с м а г н и т о п р о в о д я щ и м и д и с к а м и являются одним из наиболее распростр. типов. В корпусе такой М. размещена намагничивающая обмотка *2* (рис. 3), при включении которой намагничивается корпус. В результате якорь *1* притягивается к корпусу и сжимает стальные диски *3*, в ряде случаев имеющие фрикционные покрытия из металлокерамики. Якорь, как правило, состоит из двух колец, легко смещающихся друг относительно друга вдоль оси, что обеспечивает равномерное по радиусу сжатие дисков. М. с магнитопроводящими дисками обычно работает со смазкой. В контактной М. с дисками, вынесенными из пути магнитного потока (рис. 4), осевое усилие от якоря *1* передается через регулировочную гайку *2* пакету дисков *3*. Контактные М., работающие при относит. низких напряжениях, выполняются с одним токоподводящим кольцом. Второй полюс источника питания подается на корпус М.

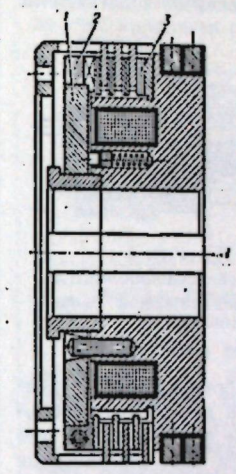


Рис. 4.

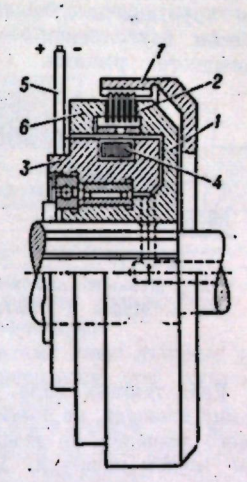


Рис. 5.

Рис. 4. Контактная муфта с дисками, вынесенными из пути магнитного потока.

Рис. 5. Бесконтактная муфта с магнитопроводящими дисками: *1*—корпус, *2* — подводок внутр. диска, *3* — магнитопровод, *4* — обмотка магнитопровода, *5* — рычаг, *6* — якорь.

В б е с к о н т а к т н ы х м у ф т а х (рис. 5) энергия подводится через магнитный поток, проходящий через воздушный зазор, разделяющий обмотки и вращающиеся детали.

В таких М. диски чаще располагаются сбоку от управляющей катушки. Все бесконтактные М. отличаются повыш. надежностью, но имеют несколько бóльшие размеры, чем контактные.

В п о р о ш к о в о й м у ф т е (М. с электромеханич. связью), в отличие от фрикционной, имеется ност. зазор между рабочими поверхностями, заполняемый ферромагнитным порошком, сухим или взвешенным в масле (или

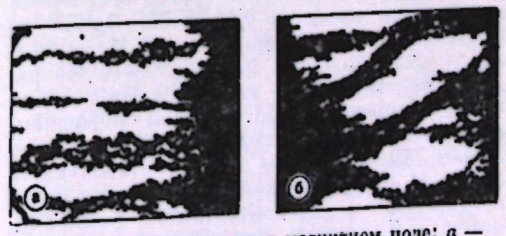


Рис. 6. Связи из частиц в магнитном поле: *а* — сдвига нет; *б* — состояние относительного сдвига поверхностей.

в др. изолирующем смазывающем веществе). В магнитном поле из частиц порошка образуются связи между ведомым и ведущим элементами, обеспечивающие передачу мощности с одного вала на др. (рис. 6).

Ферромагнитные наполнители в магнитном поле обладают вязкостью и пластичностью. Механич. схему св-в наполнителя как вязко-пластич. тела можно представить в виде последовательно соединенных поршня *а* с отверстиями (рис. 7), опущенного в жидкость, и тела с сухим трением *В*. Такая схема сох-

раняет свою «форму» под действием небольших усилий, но претерпевает сдвиг, увеличивающийся со временем при пост. усилии, если усилие сдвига превышает нек-рое предельное значение. Механич. св-ва наполнителя характеризуются предельным напряжением сдвига и сопротивлением, оказываемым сдвигу уже после наступления «жидкого» режима.

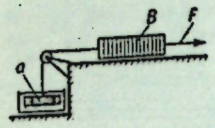


Рис. 7.

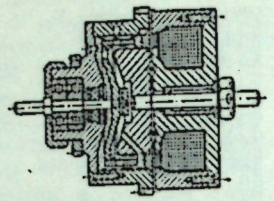


Рис. 8.

Рис. 7. Механическая схема свойств наполнителя.
Рис. 8. Муфта с электромеханической связью (ферропорошковая).

Если тангенц. сила, рассчитанная на единицу площади, не достигла нек-рого предельного значения, то течения среды нет, и оно не может начаться. Если же напряжение превосходит этот предел, то течение происходит по обычному закону для вязкой жидкости, причем оно поддерживается за счет разности между действующей силой на единицу поверхности и предельным напряжением сдвига в соответствии с уравнением: $\frac{F}{S}-\tau=\eta\frac{dv}{dr}$ ... (1), где F/S — напряжение сдвига, τ — предельное напряжение сдвига, $\frac{dv}{dr}$ — градиент скорости, η — коэфф. динамич. вязкости, зависящий от темп-ры, размера и числа частиц.

Величина η в рабочем режиме М., как правило, незначительна и усилие сцепления в осн. определяется τ — предельным напряжением сдвига. τ в общем случае зависит от магнитной индукции в рабочем зазоре М., от объемной концентрации ферромагнитного компонента, его магнитной проницаемости и гранулометрич. хар-ки, а также величины рабочего зазора М. и темп-ры. Мощность, передаваемая порошковыми М., обычно $\leqslant$300 *вт*, при этом коэфф. усиления равен 200. Время переходного процесса 0,01—0,35. Одним из существ. недостатков порошковых М. является утечка жидкости из воздушного зазора. Для предотвращения этого делаются сложные уплотнители. В М. с сухим порошком, свободных от этого недостатка, имеет место повыш. износ и более низкая стабильность хар-к. М. электромеханич. связи могут быть: контактные и бесконтактные; униполярные с осью катушки, совпадающей с осью М.; многополюсные с осью катушек, располож. параллельно, перпендикулярно или тангенциально оси М.; с цилиндрической дисковой или конусной рабочей поверхностью; малоинерционные и инерционные. В малоинерц. М. момент инерции одной из половин во много раз больше, чем момент инерции другой половины. В инерц. М. моменты инерции обеих половин М. соизмеримы по своей величине. Примером бесконтактной униполярной, цилиндрической, малоинерционной М. может служить М., схема к-рой приведена на рис. 8.

Муфта со связью через поле (М. скольжения) имеет индуктор, к-рый перемещается на входном валу и, как правило, состоит из цилиндрич. корпуса с несколькими полюсами и катушки, возбуждаемой пост. током управления. Якорь, располож. в зазоре индуктора и связанный с выходным валом, часто выполняется в виде тонкого цилиндра из проводящего материала. Когда ток управления прикладывается к обмотке индуктора, вращающегося относительно якоря, в проводящем цилиндре последнего возникают вихревые токи. Передача мощности с одного вала на др. происходит вследствие взаимодействия этих токов и потока индуктора.

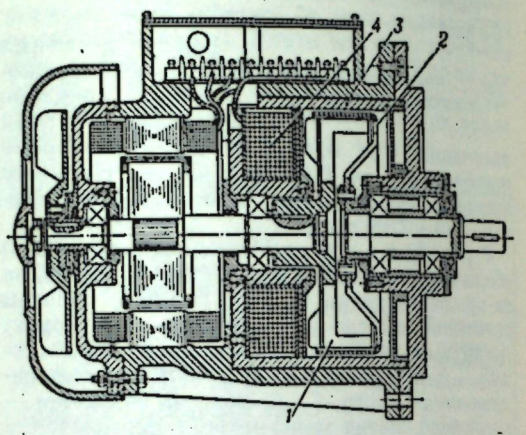


Рис. 9. Индукционная муфта со связью через поле: *1* — индуктор; *2* — якорь; *3* — корпус; *4* — катушка.

Мощность управления М. ограничивается 500 *вт*. При этом коэфф. усиления равен 20. При водяном охлаждении эффективность М. приближается к эффективности индукционного двигателя. Время переходного процесса — 0,15 — 0,45 сек., оно больше, чем в М. др. типа.

Если во время работы скорости якоря и индуктора равны, то М. наз. синхронной; при неодинаковых скоростях — асинхронной, индукционной. Индукционные М. имеют якорь либо сплошной, либо в виде полого цилиндра и беличьей клетки. При этом индуктор может быть униполярным и с явно выраж. полюсами. М., имеющая якорь в виде полого стакана, а индуктор с явно выраженными полюсами, показаны на рис. 9.

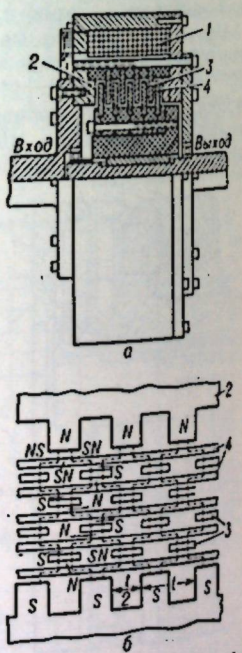


Рис. 10. Гистерезисная муфта: *а* — конструкция, *б* — путь магнитного потока в гистерезисной муфте.

Гистерезисная муфта обеспечивает передачу мощности с одного вала на др. за счет энергии остаточного намагничивания ферромагнитного тела с высокими коэрцитивными св-вами. Ведущая часть М. сделана

в виде электромагнитной системы, состоящей из электромагнита (рис. 10), полюсная поверхность к-рого имеет явно выраженные полюса *2*, между к-рыми расположены ферромагнитные зубчатые диски *3*. Ведомая часть М. состоит из дисков магнитно-твердого материала *4*, жестко закрепл. на выходном валу и располож. в промежутках между осн. полюсными поверхностями и зубчатыми дисками *3*, а также в промежутках между зубчатыми дисками. При вращении ведущей части М. относительно ведомой перемагничиваются участки дисков из магнитотвердого материала *4*. Затрачиваемая на это мощность реализуется как передаваемая М. мощность вращения. Коэфф. усиления по мощности гистерезисной М. не превышает 20.

Действие конденсаторных муфт (рис. 11) основано на использовании электростатич. сил между входным и выходным

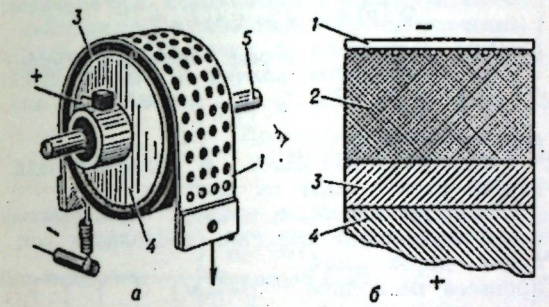


Рис. 11. Принципиальное устройство конденсаторной муфты с электростатич. управлением: *а* — общий вид; *б* — сечение рабочих элементов.

элементами М. Выходной элемент *1* — стальной обод, скользит по составному кольцу, внешняя часть к-рого *2* сделана из резины, пропитанной углеродом, а внутренняя *3* — из меди. Напряжение между *1* и стальным колесом *4*, изолированным от вала *5*, создает силу электростатич. притяжения, препятствующую проскальзыванию обода относительно кольца. Т. о., осуществляется передача момента. Сила притяжения прямо пропорциональна площади обода и обратно пропорциональна квадрату расстояния между ободом и колесом; для шероховатой поверхности (рис. 11, *б*) пропорциональна квадрату напряжения на электродах М. Мощность управления — 5 *вт*, коэфф. усиления — 5, постоянная времени — несколько *мсек*.

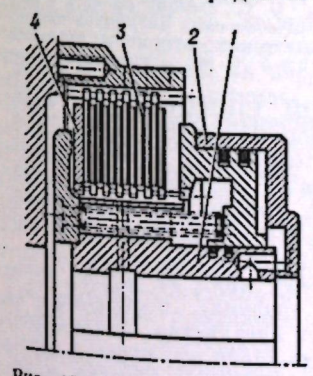


Рис. 12. Муфта с гидравлич. управлением.

Муфты с гидравлическим управлением бывают двух осн. вариантов: с подвижным поршнем и с подвижным цилиндром.

Первые (рис. 12) имеют втулку *1*, к к-рой привернут стакан *2*, образующий вместе со втулкой кольцевой цилиндр. Поршень, входящий в цилиндр, прижимает пакет дисков *3* к опорному диску *4*, к-рый привернут к др. концу втулки. Подвод масла осуществляется либо через вал, либо через спец. устройства.

Муфты с механическим управлением чаще бывают рычажными (с жесткими и с мягкими рычагами). В М. с жесткими рычагами сжатие пакета фрикц. дисков создается тангенциально располож. рычагами за счет вращения резьбовой втулки с гайкой.

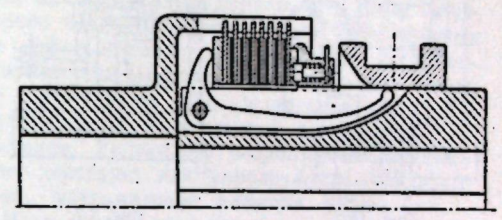


Рис. 13. Муфта с механич. управлением.

М. с мягкими рычагами имеет длинные упругие рычаги, размещенные под пакетом фрикц. дисков (рис. 13).

Схемы управления муфт. Фрикц. М. управляются от источника пост. тока изменением тока управления в обмотке

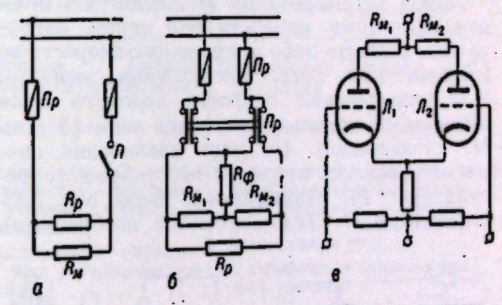


Рис. 14. Схемы управления муфтами от сети пост. тока: *а* — одна муфта; *б* — блок муфт с контактным переключателем; *в* — блок муфт с переключателем на лампах.

М. путем регулирования сопротивления цепи обмотки (рис. 14, *а*, *б*). Для автоматич. управления реверсивной схемой М. в качестве переключателей употребляются электронные элементы (в частности, триоды, рис. 14, *в*). М. может также управляться от сети перем. тока через выпрямитель (рис. 15, *а*, *б*). Параллельно катушке М. включаются разрядное сопротивление и вентиль, защищающие катушку от перенапряжения и искрения на контактах рубильника. Аналогичные схемы могут быть использованы и для управления М. электромеханич. связи (ферропорошковой). М. скольжения управляются по схеме рис. 16. В нестационарных установках управление М.

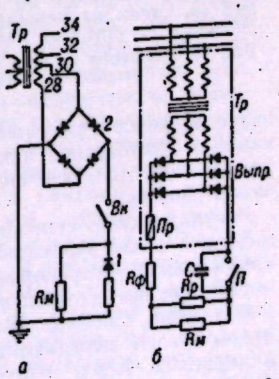


Рис. 15. Схемы управления муфтой от сети перем. тока: *а* — с разрядным вентилем, включенным в параллель с обмоткой управления; *б* — с разрядным конденсатором, включенным последовательно с обмоткой управления.

производят от генератора пост. тока, приводимого в действие первичным двигателем. М. может управляться также самовозбуждением. В этом случае обмотка возбуждения М. подключается к фазной обмотке якоря (рис. 17). М. гистерезисного типа возможно управлять

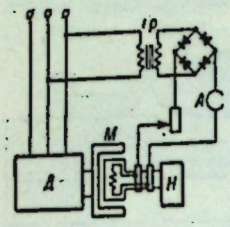


Рис. 16.

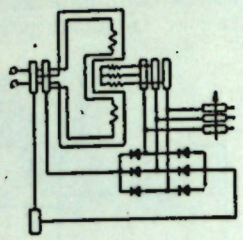


Рис. 17.

Рис. 16. Схема управления муфтой от сети перем. тока.

Рис. 17. Схемы управления муфтой за счет самовозбуждения.

изменением расстояния по оси соседних рабочих элементов, конденсаторными М.— изменением напряжения на обкладках конденсатора.

Задача регулирования М. сводится к поддержанию пост. скорости при перем. нагрузочном моменте либо к изменению скорости во времени при пост. нагрузочном моменте. Для поддержания скорости ведомого вала неизменной используется схема рис. 18 (для М. скольжения). По мере увеличения скорости вращения контакты центробежного регулятора *РС* размыкаются, вводя осн. сопротивление *R*. Ток в обмотке возбуждения

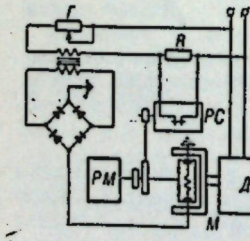


Рис. 18.

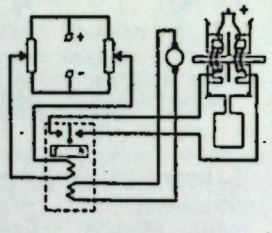


Рис. 19.

Рис. 18. Схема регулирования скорости с центробежным регулятором: *РМ* — рабочая машина.

Рис. 19. Следящая система на муфтах с обратной связью по скорости.

падает и скорость уменьшается. Частота замыканий и размыканий такого *РС* 10—50 *гц*, что практически обеспечивает отсутствие колебания скорости.

Регулирование скорости привода на М. механич. связи (фрикционных) и электромеханич. связи (ферропорошковых) достигается периодическим размыканием цепи обмотки управления. Способы управления реле или прерывателем изменяются в зависимости от конкретных задач. Прерыватель может управляться центробежным регулятором, тахогенератором и т. д.

М. с электрич. управлением могут выполнять роль сервопривода в следящих системах. Для этого устанавливаются две М., соединенные в реверсивную схему. Обмотки М. подключаются к сети пост. тока, напр., через контакты поляризов. реле (рис. 19). На обмотку реле последовательно подаются напряжение, пропорциональное ошибке рассогласования задающего и выходного вала, и напряжение тахогенератора (или импульсного датчика), соединенного с выходным валом системы (рис. 20). Блок М. характеризуется астатизмом 2-го порядка относительно угла поворота. Включение блока М. в САР вносит структурную неустойчивость. Поэтому необходимо снижать порядок астатизма. Этого добиваются введением обратной связи по скорости.

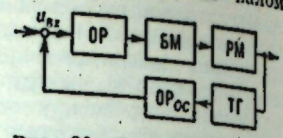


Рис. 20. Структурная схема следящей системы на муфтах с обратной связью по скорости: *ОР* — обмотка реле, *БМ* — блок муфты, *РМ* — рабочая машина, $ОР_{ос}$ — обмотка реле обратной связи, *ТГ* — тахогенератор.

Передаточная ф-ция $\Phi(p)$ блока М. со скоростной обратной связью состоит из двух звеньев — колебательного и интегрирующего:

$$\Phi(p)=k(T_{пр}^2+2\zeta T_p+1);$$

где $k=1/k_{ос}$, $k_{ос}$ — коэфф. обратной связи; $T_{пр}=\sqrt{\frac{T}{k\cdot k_{ос}}}$; $\zeta=\frac{1}{2}\frac{T}{T_{пр}}$ — показатель колебательности.

Амплитудно-частотная и фазо-частотная хар-ки схемы даны на рис. 21.

Использование М. в приводе обеспечивает: коэфф. усиления порядка нескольких сот; время переходного процесса несколько *мсек*; плавность хода; допустимость скачка момента нагрузки; высокую эффективность, надежность; конструктивную простоту и дешевизну. Недостатки М. в том, что могут возникать проблемы стабильности из-за износа, вибраций, ударов, заклинивания и т. п.; хар-ки М. в следящих системах трудно рассчитываются. Поэтому точное предсказание хар-ки и определение их особенностей бывает часто затруднено.

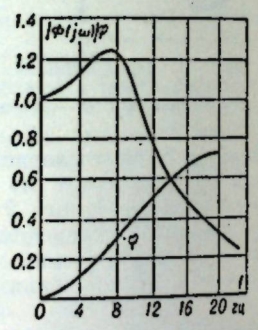


Рис. 21. Амплитудно-частотная и фазовая хар-ки следящей системы на муфтах с обратной связью по скорости.

Лит.: Сотсков Б. С., Основы расчета и проектирования электромеханических элементов автоматических и телемеханических устройств автомата, М., 1959; Воробьева Т. М., Электромагнитные муфты, М.—Л., 1960.

Т. М. Воробьева.

МЫСЛИТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ УСИЛИТЕЛЬ (intellectual ability amplifier; amplificateur d'entendement; Denkfähigkeits-Verstärker) — технич. устройство, перерабатывающее бо́льшее количество информации, чем было потрачено на его создание и поддержание его работоспособности.

В донаучную эпоху вряд ли можно было дать определение «разума», поскольку это слово имело много идеалистич. толкований, к-рые не могли быть точно выражены в практич. и объективных терминах. Сегодня, однако, это слово может быть определено вполне научно, исходя из того, что человек как живой организм сформировался в процессе естеств. отбора. Его мозг, как и любой др. орган его тела, рассматривается, т. о., как средство для выживания. «Выживание» имеет, конечно,

в физиологии вполне четкий смысл и обозначает, что различные действия человека, определяемые и моделируемые его мозгом, должны вести к удержанию, несмотря на все возмущения, нек-рых осн. переменных в их норм. физиологич. пределах. Так, при простейших действиях мозг должен функционировать т. о., чтобы удержать человека, напр., от прыжка в огонь, от перелома конечностей, от того, чтобы он наступил на острый камень. В своих наиболее сложных действиях, скажем, когда человек работает по своей специальности, с точки зрения физиолога мозг также функционирует т. о., чтобы осн. переменные человека удерживались в норм. пределах. Выращивает ли человек урожай, чтобы питаться, ткет ли он одежду, чтобы одеваться, или зарабатывает деньги для обмена на еду и одежду (и др. нужды), его мозг проявляет свою силу, функционируя так, чтобы удержать свои различные осн. переменные в норм. пределах.

Действия, удерживающие осн. переменные в заданных пределах, в настоящее время хорошо поняты в физиологии — после того, как У. Б. Кеннон подробно описал их в 1932 [3]. Еще раньше И. П. Павлов [4] заметил, что тот же тезис справедлив для активности организма в более широком диапазоне его повседневной жизни. Он сказал: «Как определенная замкнутая вещественная система, он (т. е. организм) может существовать только до тех пор, пока он каждый момент уравновешивается с окружающими условиями. Как только это уравновешивание серьезно нарушается, он перестает существовать как данная система».

Итак, процесс регулирования, осуществляемый в живом организме, в осн. тот же самый, что и процесс регулирования, осуществляемый автоматич. регулятором в пром-сти: превосходство человека проявляется только в значительно более широком диапазоне и сложности его мозга. Когда, напр., нефтеперегонный з-д оснащается сложной САР, то достоинства регулятора проявляются именно в его способности удерживать такие важные переменные, как октановое число бензина в установл. пределах, несмотря на многие изменения, к-рые могут вызвать отклонения (посторонние примеси в сырой нефти, колебания темп-ры воздуха, изменения катализаторов). Т. о., сложные процессы регулирования и функционирование человеч. разума принципиально гомологичны.

В технике такие процессы регулирования гомологичны также процессам, устраняющим ошибки из искаж. информации при вычислениях и передаче сигналов по линиям связи. Чтобы увидеть эту гомологию, рассмотрим нефтеперегонный завод как нек-рый канал связи, к-рый при подаче в диспетчерской сигнала «бензин с октановым числом 100» даст на своем выходе бензин, октановое число к-рого точно 100. Возмущения, действующие на нефтеперегонный з-д, стремясь заставить его выпускать бензин, октановое число к-рого не соответствует 100, ведут себя как шум в канале связи, искажающий передаваемое сообщение. Регулятор, подавляющий отклонение, действует как корректирующее устройство, устраняющее влияние шума.

Итак, вся деятельность человека, в к-рой он проявляет свой «разум» практич. путем (действуя гомеостатически для выживания), гомологична действиям автоматич. регулятора и каналу, корректирующему ошибки в передаваемой информации. Для ясного понимания этих соответствий они обобщены в табл.

	Практический разум (как гомеостаз)	Коррекция ошибок автоматич. регулятором	Коррекция ошибок в искаж. информации
Цель	Поддержание осн. физиологич. переменных в норм. пределах	Поддержание сигнала ошибки на нуле или вблизи него	Поступление неискаж. информации
Цель поставлена	Природой видов	Требование пром-сти через УУ	Отправитель информации
Возмущения, подлежащие нейтрализации	Угровы голода, жажды, механич. ушибов, мотощения и т. п.	Изменения в сырье, силовая нагрузка, окружающие условия, небольшие аварии и т. д.	Шум, вызванный тепловым возбуждением, перегулярной эмиссией у катода, несоверш. контактами, помехами и т. д.
Информация получена	От окружающего мира и от самого организма	От подлежащей управлению или регулированию системы	Об ошибках в искаженной информации
Информация отправлена	Импульсами к мышцам и железам для возбуждения или торможения	Сигналы к управляемой или регулируемой системе	Сигналы по каналу коррекции ошибок для их устранения

С этой точки зрения, основанной на трудах Ч. Дарвина и И. П. Павлова, человеч. мозг рассматривается как крайне сложный по структуре, но простой по принципу действия механизм. Своей замечат. мощи он обязан 5 млрд. лет эволюции, благодаря к-рым он сформировался. «Разум» может сейчас быть определен в терминах одновременно общих и строгих, применимых и к автопилоту, и к системе управления нефтеперегонным з-дом, и к шахматисту, играющему со своим противником. Система (живая или искусственная) является «разумной», когда ее части организованы таким образом (в результате развития или конструирования), что целое действует (несмотря на широкий диапазон возмущений и большие сложности) целенаправленно. В таком виде определение ясно показывает, что количество «разума» может быть надлежащим образом измерено (как акт отбора) ф-циями, используемыми в теории связи.

Определение «усиление» — прямолинейно: оно будет правильно понято, когда имеется система со входом и выходом и когда выход на нек-рый надлежащий порядок шире входа.

Перейдем к рассмотрению вопроса, как могут быть усилены умственные способности. На первый взгляд кажется, что такое усиление

невозможно, поскольку на его пути стоят два очень общих закона. Десятая теорема Шеннона относится к каналу коррекции, действующему параллельно каналу связи с шумом так, чтобы устранить как можно больше ошибок, вызванных шумом при передаче. Эта теорема утверждает, что количество шума, к-рое может быть устранено, ограничено, вообще говоря, количеством информации, передаваемой по каналу коррекции. Второй закон («необходимого разнообразия») гласит, что когда регулятор действует на систему для достижения какой-то цели, то степень, до к-рой он может уменьшить влияние возмущений, пропорциональна его пропускной способности как канала связи. Поэтому устройства, корректирующие ошибки, и регуляторы не в состоянии достигнуть коррекции ошибок и соответственно степени регулирования сверх пропускной способности своих каналов так же, как источник энергии не в состоянии выполнять работу сверх своей энергетич. емкости.

Задумываясь над тем, как «усилитель мощности» преодолевает кажущийся барьер закона сохранения энергии, можно получить представление о том, каким образом могут быть преодолены кажущиеся барьеры десятой теоремы Шеннона и закона необходимого разнообразия.

Рассмотрим работу крановщика, к-рый, перемещая рукоятку управления, может привести в движение электродвигатель мощностью 100 л. с., хотя он сам не может дать больше, чем ок. $^1/_7$ л. с. Очевидно, что (видимое) усиление с $^1/_7$ л. с. до 100 л. с. оказывается возможным благодаря тому, что энергия расходуется в две отдельные стадии. В первой стадии рабочий затрачивает $^1/_7$ л. с. не на подъем груза, а на перемещение рукоятки управления; на этой стадии, начиная со сгорания глюкозы в его мышцах и кончая согреванием механизма управления за счет трения, энергия (в результате расходования $^1/_7$ л. с.) строго сохраняется. Во второй стадии энергия сжигания топлива на электростанции поступает в двигатель и поднимает груз; и в этой стадии энергия (в результате расходования 100 л. с.) строго сохраняется. А поскольку 100 больше $^1/_7$, то произошло усиление (примерно в 700 раз).

Сущность усиления состоит в том, что мыслительные способности или имеющаяся мощность регулирования могут использоваться не непосредственно в осн. процессе, а для регулирования или управления функционированием другого разума (мыслит. способностей), воздействующего на осн. процесс. Точнее, умственные способности усиливаются когда: 1) полное регулирование (цель) достигается двумя (или более) стадиями; 2) первая стадия регулирования имеет своей целью не осн. цель, а обеспечение успешного функционирования (путем конструирования или построения) второго регулятора; 3) второй регулятор своим собств. действием и без дальнейшего воздействия первого достигает осн. цели; 4) эффект регулирования, достигнутый вторым регулятором, больше того, к-рое требовалось для создания первого регулятора.

Применения. Эти осн. идеи часто использовались в прошлом, задолго до того, как киберн. теория сделала принцип ясным и количественным. Так, напр., мальчика учат не значению к.-л. отдельного слова, а тому, как пользоваться словарем; и пятиминутное объяснение позволит ему открыть значения значительно большего количества слов, чем то, к-рое бы удалось объяснить по одному в течение пяти минут. Администратор, возглавляющий отдел, потратив день на реорганизацию потока работы, проходящей через отдел, может добиться значительно большего дополнит. потока, чем если бы он взял на себя ф-ции дополнит. помощника.

Усиление умств. способностей фактически происходит во все возрастающей степени, хотя не всегда с полной количеств. оценкой его мощности. Итак, человек, к-рый строит вычислит. машину для прокатного стана, не осуществляет переработки потоков информации о стане: эту работу выполняет машина; информация, к-рую он обрабатывает, направлена на достижение цели — построение вычислительной машины. Если вычислит. машина в последующем перерабатывает количество информации большее, чем то, к-рое пошло на ее конструирование, то произошло усиление. В качестве 2-го примера рассмотрим регулятор движения в оживленном аэропорту. Если во время своей службы этот регулятор перерабатывает больше информации о воздушном транспорте, чем потребовалось для его конструирования и ухода за ним, то произошло усиление.

Против искусств. разума и его усиления выдвигаются возражения двоякого рода. Одни говорят, что это не может быть сделано: они уподобляются тем, кто утверждал, что машина никогда не сможет летать. Др. настроены излишне оптимистически и ожидают, что такой разум молниеносно решит все проблемы мира: они подобны тем, кто верит в вечное движение. Истина лежит посредине: искусств. разум позволяет достигнуть очень многого, но воспользоваться его возможностями смогут только те инженеры, к-рые имеют реалистич. представление об его ограничениях.

Положение с разумом сегодня точно такое, как с мощностью. И то, и другое может быть усилено почти беспредельно. Но наибольшей их эффективности достигнут только те, кто понимает, что и мощность и разум зависят от осн. законов и ограничены ими, для мощности — это закон сохранения энергии; для разума — закон необходимого разнообразия. Есть все основания полагать, что если инженер — специалист по теории информации, будет в своей работе с таким же пониманием относиться к значению количеств. аспекта, как инженер-энергетик, то усилением умств. способностей он достигнет столь же замечат. результатов, как уже достигнутые усилением мощности.

Лит.: 1) Ashby W. R., Design for an intelligence-amplifier, «Automata Studies», ed. by C. E. Shannon and J. Mc Carthy, Princeton, 1956 («Ann. Math. Studies», № 34); 2) его же, An introduction to cybernetics. 3 ed., L., 1958 (в рус. пер.— Эшби У. Р., Введение в кибернетику, М., 1959); 3) Cannon W. B., The wisdom of the body, L., 1932; 4) Павлов И. П., Физиология высшей нервной деятельности, Избранные труды, изд. Акад. пед. наук РСФСР, М., 1951; 5) Shannon C. E. and Weaver W., The mathematical theory of communication. The Univ. of Illinois press., 1949.

У. Росс Эшби (W. R. Ashby).

Н

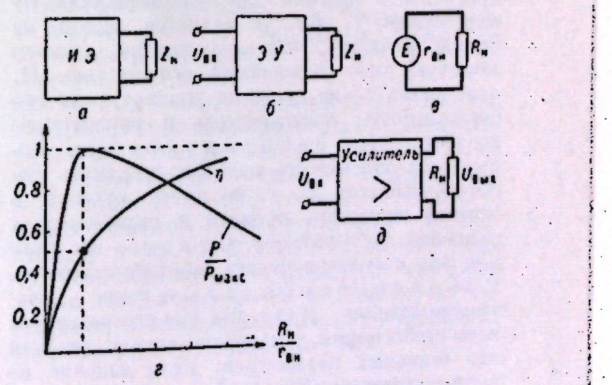
НАБОРНОЕ КОММУТАЦИОННОЕ ПОЛЕ (patching panel; champs de composition; Eingabe-Schaltfeld, Auswahl-Schaltfeld) — конструктивный узел АВМ, предназнач. для соединения друг с другом операц. блоков, выполняющих различные вычислит. операции в соответствии с заданной системой ур-ний. По способу коммутации Н. к. п. могут быть разделены на поля с жесткой и гибкой системой электрич. соединений. В первом случае отдельные точки (клеммы) коммутац. поля соединяются между собой, напр., жесткими проводами, припаиваемыми к выводам этих точек на плоскости Н. к. п. Это обеспечивает надежное контактирование в электрич. схеме, но усложняет переход от одной схемы соединений к другой. При гибкой системе соединений в состав Н. к. п. входят контактные гнезда, а соединения между ними производятся электрич. шнурами с однопроводными вилками.

По методу коммутации Н. к. п. могут быть одноцелевыми, многоцелевыми и совмещенными. Одноцелевые Н. к. п. выполнены в виде панели, на к-рой размещены лишь точки подключения входов и выходов отдельных блоков АВМ и соответствующие надписи, облегчающие выполнение коммутации. Наиболее совр. поля имеют для этих целей также различную окраску отдельных участков их лицевой части. Одноцелевые Н. к. п. могут быть съемными, что ускоряет процесс перехода от одной задачи к другой (машина МН-14). Многоцелевые коммутац. поля включают в свой состав также и элементы установки коэфф. передачи суммирующих и интегрирующих усилителей, в результате чего на плоскости Н. к. п. производятся также осн. подготовит. операции для математич. моделирования систем ур-ний (машина МН-7). Совмещенные Н. к. п. не представляют собой единого конструктивного узла, а образуются плоскостью передних панелей блоков, подлежащих соединению друг с другом (машина ИПТ-5), что обеспечивает наглядность в соединении блоков между собой, но ухудшает внешний вид АВМ и неск. усложняет смену блоков.

Среднее положение между многоцелевыми и совмещенными Н. к. п. занимают поля в машинах, использующих ВЧ блоки (напр., машина МН-11), где ставятся задачи макс. сокращения длин соединит. проводов за счет приближения всех элементов решающей схемы к усилителям. В этих машинах плоскость Н. к. п. размещается непосредственно у разъемов усилителей и используется для включения в ее гнезда элементов решающей схемы (сопротивления и конденсаторы), а образующаяся из верхних частей этих элементов вторая плоскость используется для шнуровой коммутации моделируемой схемы.

И. М. Витенберг.

НАГРУЗОЧНАЯ ЦЕПЬ (load circuit; circuit de charge; Belastungskreis) — часть электрич. цепи, потребляющая полезную энергию. Эквивалентное сопротивление Н. ц. может быть: активным (Н. ц. практически является активным сопротивлением, ток Н. ц. совпадает по фазе с напряжением), емкостным



(влияние емкости преобладает над влиянием индуктивности, ток опережает напряжение) и индуктивным (влияние индуктивности преобладает над влиянием емкости, ток отстает от напряжения).

Электрич. устройство, относительно к-рого рассматривается Н. ц., удобно представить в виде источника энергии *ИЭ* с эквивалентным внутр. сопротивлением $Z_н$ (рис., *а*) или четырехполюсником (активным или пассивным) с эквивалентным входным сопротивлением (рис., *б*), где *ЭУ* — электрич. устройство. Рассмотрим случай нагрузки обычного источника напряжения E с внутр. сопротивлением $r_{вн}$ и Н. ц., имеющую активный характер (рис., *в*). Для такой схемы условием макс. отдачи мощности источника на Н. ц. является $R_н = r_{вн}$ ($R_н$ — сопротивление нагрузки), а кпд источника (отношение мощности, выделяемой в Н. ц., к полной мощности, вырабатываемой источником) $\eta = \frac{R_н}{R_н + r_{вн}} = 0{,}5$;

при повышении η уменьшается отдача мощности в Н. ц. Соотношение $R_н$ и $r_{вн}$ следует выбирать в зависимости от требований к работе источника (рис., *г*), где P — мощность, выделяемая на Н. ц., $P_{макс}$ — макс. значение P. При рассмотрении усилителя НЧ как усилителя мощности, его удобно представить в виде активного четырехполюсника (рис., *д*), имеющего активное входное сопротивление $R_{вх}$. Для такой схемы известны соотношения:

$$P_{вых}=\frac{U^2_{вых}}{2R_н},\quad P_{вх}=\frac{U^2_{вх}}{2R_{вх}},$$

где $P_{вх}$ — мощность, выделяемая на входной цепи усилителя, $P_{вых}$ — мощность, выделяемая на Н. ц. ($R_н$). Случай усиления по мощности ($P_{вых}>P_{вх}$) может быть даже при $U_{вых}<U_{вх}$, но для этого необходимо условие $R_{вх}>R_н$.

С. Л. Земляков.

НАДЕЖНОСТЬ (reliability; fiabilité; Zuverlässigkeit) — совокупность свойств изделия, определяющих степень его пригодности для использования по назначению и связанных с возможностью появления неисправностей при его эксплуатации. Под изделием понимается либо технич. устройство, либо его часть (элемент, деталь, блок, узел, агрегат). Под эксплуатацией изделия понимается совокупность всех фаз его существования: транспортировки, хранения, подготовки к использованию по назначению, использования по назначению, технич. обслуживания и ремонтов. Качеством изделия наз. совокупность его свойств, определяющих пригодность изделия для использования по назначению. Т. обр., Н. является одной из сторон качества, частью качества, причем зачастую даже важнейшей его частью. Н. охватывает такие свойства изделия, как его безотказность, долговечность и ремонтопригодность. Под безотказностью понимается способность изделия сохранять работоспособность (т. е. не иметь отказов) в течение заданного времени в определенных условиях эксплуатации. Отказ — это полная или частичная утрата работоспособности. Работоспособность — такое состояние изделия, при к-ром оно соответствует всем требованиям, установленным в отношении его основных параметров. Если изделие не соответствует нек-рым требованиям к его второстепенным параметрам, то такое состояние наз. неисправностью (дефектом). При этом работоспособность изделия не нарушается и отказ не имеет места. Отказы разделяются на внезапные и постепенные. Постепенные отказы возникают при постепенном изменении определяющих параметров изделия (напр., из-за старения или износа), когда эти параметры выходят за пределы установленных допусков. Поэтому постепенные отказы можно предвидеть (прогнозировать), следя за изменением определяющих параметров изделия. Внезапные отказы не связаны с постепенными изменениями параметров изделия и их нельзя прогнозировать. Безотказность изделия характеризуется рядом вероятностных хар-к, к-рые будут рассмотрены ниже.

Долговечностью изделия наз. способность к длительной эксплуатации при необходимом технич. обслуживании (в к-рое могут входить и различные виды ремонтов). Долговечность характеризуется либо временем эксплуатации, либо числом циклов функционирования, либо объемом произведенной работы. Ремонтопригодностью изделия наз. его приспособленность к предупреждению, обнаружению и устранению отказов; она характеризуется затратами труда, времени и средств на указанные работы.

Проблема повышения Н. изделий становится все более важной и актуальной, в связи с комплексной механизацией и автоматизацией производств. процессов во многих областях пром-сти, на транспорте, в технике связи и т. п. Важность этой проблемы определяется тем, что недостаточная Н. изделий вызывает: 1) большие затраты на их технич. обслуживание, ремонты, запасные части и т. п.; нередки случаи, когда расходы на эксплуатацию изделий в течение 1—2 лет превосходят их первоначальную стоимость, что очень невыгодно для народного хозяйства; случается, что из-за недостаточной Н. автоматич. оборудования оно оказывается менее рентабельным, чем неавтоматическое; 2) частые простои; 3) опасные аварии на производстве, на транспорте (наземном и воздушном) и т. п.

Развитие науки и техники приводит к все большему усложнению применяемых технич. устройств. При этом все возрастает количество элементов (деталей), из к-рых состоят эти устройства. Естественно, что все труднее становится обеспечить Н. таких устройств. Для этой цели могут быть использованы различные конструктивные, технологич. и эксплуатационные мероприятия; при их выборе и обосновании большое значение имеет теория Н.

Теория надежности — новая научная дисциплина, изучающая общие закономерности, к-рых следует придерживаться при проектировании, испытаниях, изготовлении, приемке и эксплуатации изделий для получения макс. эффективности их использования. Теория Н. устанавливает закономерности возникновения отказов и восстановления работоспособности изделий, рассматривает влияние внешних и внутренних воздействий на процессы, происходящие в изделиях, создает основы расчета Н. и прогнозирования отказов, изыскивает способы повышения Н. при конструировании и изготовлении изделий, а также способы сохранения Н. при эксплуатации, определяет методику сбора, учета и анализа статистич. сведений, характеризующих Н.

В теории Н. рассматриваются количественные хар-ки (критерии) Н., устанавливается связь между экономич. эффективностью и хар-ками Н., разрабатываются методы проведения испытаний на Н. и методы обработки и оценки результатов этих испытаний, рассматриваются методы контроля Н., методы обоснования режимов профилактич. (регламентных) работ при эксплуатации изделий, методы обоснования норм запасных частей (элементов, деталей). Теория Н. разрабатывает методы установления оптимальных хар-к Н., методы выбора оптимальных конструкций (схем), обеспечивающих заданную Н., оптимальные методы отыскания неисправностей в сложной аппаратуре и т. п. Для решения стоящих перед ней задач теория Н. широко использует математич. методы теории вероятностей, математич. статистики, теории массового обслуживания, теории информации, линейное и динамич. программирование, методы статистич. моделирования на ЭВМ и др.

Иллюстрацией математич. подхода к вопросам Н. может служить математич. описание процесса возникновения отказов в изделии. Каждое изделие может находиться в каком-то множестве X состояний, определяющих его работоспособность (напр., для вала каждое состояние характеризуется величиной диаметра вала, параметрами его упругости и др.). Самый простой случай — наличие 2 состояний — рабочего и неисправного. Множество X наз. фазовым пространством изделия. Изделие со временем изменяет свои состояния под влиянием различных причин. Если через $X(t)$ мы обозначим состояние в момент t, то последовательность состояний изделия во времени описывает в фазовом пространстве нек-рую траекторию, зависящую от случая, и изменение состояний изделия представляет собой случайный процесс. Фазовое пространство в силу условий работы изделия разделяется на подмножества, принадлежность к к-рым означает устойчивую, неустойчивую его работоспособность или же состояние отказа.

Классификация изделий в теории надежности. В теории Н. из методич. соображений оказывается целесообразным разбить все изделия на 2 класса: невосстанавливаемые (не подлежащие или не поддающиеся восстановлению в случае отказа) и восстанавливаемые. Одни и те же изделия могут быть восстанавливаемыми на одной фазе их эксплуатации и невосстанавливаемыми — на др. фазе. Примеры невосстанавливаемых изделий: элементы радиоэлектронной аппаратуры (электровакуумные приборы, ПП приборы, сопротивления, конденсаторы и т. п.), детали машин и приборов (шестерни, подшипники и т. п.). Нек-рые из этих изделий могут восстанавливаться после появления отказа, но часто имеет смысл рассматривать хар-ки Н. этих изделий до первого отказа, т. е. рассматривать их как изделия невосстанавливаемые. Примеры восстанавливаемых изделий: различные электронные вычислит. и управляющие машины, аппаратура связи, автомобили, оборудование автоматич. технологич. линий и др. Нек-рые устройства могут рассматриваться как невосстанавливаемые в одних условиях и как восстанавливаемые в др. (напр., бортовые устройства ракет или искусств. спутников Земли невосстанавливаемы в полете и восстанавливаемы при хранении и при подготовке к старту).

Хар-ки надежности невосстанавливаемых изделий. Основная хар-ка каждого отд. экземпляра рассматриваемого изделия в определ. условиях эксплуатации — его индивидуальная долговечность, измеряемая нек-рым числом t. При изучении множества экземпляров однотипных изделий приходится рассматривать индивидуальную долговечность t как случайную (неотрицательную) величину. При этом обычно рассматривают следующие хар-ки: плотность $f(t)$ вероятности случайной величины t; функцию распределения $F(t)=\int_0^t f(t)\,dt$; вероятность безотказной эксплуатации изделия в промежутке времени от 0 до t $p(t)=1-F(t)$; интенсивность отказов изделия

$$\lambda(t)=f(t)/p(t); \qquad (1)$$

ср. долговечность

$$t_{ср}=\int_0^\infty t f(t)\,dt=\int_0^\infty p(t)\,dt; \qquad (2)$$

гарантийную долговечность $t_г$, отвечающую заданной гарантийной вероятности α и определяемую из уравнения: $p(t_г)=\alpha$. Из этих хар-к Н. одна из наиболее важных — интенсивность отказов. При любом законе распределения $f(t)$ имеет место ур-ние

$$p(t)=\exp\left[-\int_0^t \lambda(t)\,dt\right]. \qquad (3)$$

Зная интенсивность отказов $\lambda(t)$, можно из ур-ния (3) найти $p(t)$, из ур-ния (1) найти $f(t)$, а затем определить и остальные хар-ки Н. Т. о., интенсивность отказов может служить определяющей хар-кой Н.

Часто (особенно в радиоэлектронной аппаратуре) в нач. период эксплуатации изделия интенсивность отказов повышена, т. к. проявляются скрытые дефекты, не выявленные в процессе произ-ва. Этот период наз. периодом приработки (периодом выжигания дефектных изделий). Далее следует период почти пост. интенсивности отказов, а затем из-за старений или износа наступает возрастание интенсивности отказов (рис. 1). Обычно стремятся эксплуатировать изделия в периоде пост. интенсивности отказов. Для этого на производстве можно вести тренировку изделий, выбирающую их период приработки. Кроме того, часто ограничивают технич. ресурс изделий так, чтобы снимать изделия с эксплуатации до достижения периода усиленного износа.

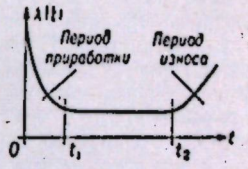


Рис. 1. Зависимость интенсивности отказов от времени.

Для элементов радиоэлектронной аппаратуры, у к-рых преобладают внезапные отказы, распределение долговечности часто является экспоненциальным. В этом случае интенсивность отказов постоянна $\lambda(t)=\text{const}=\lambda$, а ур-ния (2) и (3) принимают вид

$$t_{ср}=1/\lambda,\quad p(t)=e^{-\lambda t}=e^{-t/t_{ср}}.$$

Для электровакуумных приборов и нек-рых деталей машин и приборов долговечность может подчиняться распределению Вейбулла, определяемому двумя параметрами m и t_0. В этом случае ур-ния (1) и (3) принимают вид

$$\lambda(t)=\frac{m}{t_0}t^{m-1};\qquad p(t)=\exp\left(-\frac{t^m}{t_0}\right).$$

При $m=1$ распределение Вейбулла совпадает с экспоненциальным. При $m>1$ интенсивность отказов возрастает с ростом t, а при $m<1$ интенсивность отказов убывает с ростом t.

В ряде случаев долговечность деталей машин и приборов может иметь усеченное нормальное распределение (усечение проводится в точке $t=0$, т. к. долговечность не может быть отрицательной). В этом случае интенсивность отказов возрастает со временем, а уравнение (3) записывается в виде

$$p(t)=F_0\left(\frac{t_0-t}{\sigma}\right)/F_0\left(\frac{t_0}{\sigma}\right),$$

где t_0 и σ — параметры неусеченного норм. распределения, а $F_0(x)$ — табулированная функция

$$F_0(x)=\int_{-\infty}^{x}\frac{1}{\sqrt{2\pi}}\exp\left(-\frac{1}{2}t^2\right)dt.$$

Характеристики надежности восстанавливаемых изделий. При эксплуатации восстанавливаемых изделий часто приходится рассматривать промежутки времени: 1) от момента окончания восстановления изделия после отказа до момента появления след. отказа. Длина t_i этого промежутка наз. временем безотказной работы (эксплуатации); 2) от момента появления отказа до момента окончания восстановления изделия после отказа. В этом промежутке времени происходит отыскание и устранение отказа (часто замена отказавшего элемента новым). Длина τ_i этого промежутка наз. временем восстановления; 3) промежуток времени, затрачиваемый на проведение профилактич. (регламентных) работ.

При рассмотрении всех промежутков t_i подряд (в порядке возрастания индекса i) можно сказать, что случайные числа t_i определяют собой поток отказов. Воспользовавшись терминологией теории массового обслуживания, можно сказать, что поток отказов часто является ординарным без последействия. В нач. период эксплуатации изделия (период приработки) этот поток не стационарен. Обычно после окончания периода приработки поток отказов становится стационарным и, следовательно, простейшим.

Основная хар-ка потока отказов — параметр потока $\Lambda(t)$, к-рый определяет собой ср. число отказов в единицу времени вблизи момента t. Зависимость параметра потока отказов от времени имеет такой же вид, как зависимость интенсивности отказов (рис. 1). На том промежутке времени, где параметр потока отказов имеет пост. значение, справедливо ур-ние

$$\Lambda(t)=\text{const}=\Lambda=\frac{1}{T},$$

где T — ср. время безотказной работы или ср. наработка на отказ.

При пост. параметре потока отказов вероятность появления ровно k отказов на промежутке времени от t_0 до t_0+t определяется независимо от t_0 по формуле Пуассона

$$p_k(t)=\frac{1}{k!}(\Lambda t)^k e^{-\Lambda t}.$$

Отсюда вероятность безотказной работы на промежутке от t_0 до t_0+t равна

$$p_0(t)=e^{-\Lambda t}=e^{-\frac{t}{T}}.$$

При этом случайные промежутки времени между двумя последоват. отказами имеют экспоненц. распределение с математич. ожиданием T.

Если рассмотреть подряд все промежутки τ_i (в порядке возрастания индекса i), то можно сказать, что случайные числа τ_i определяют собой поток восстановлений. Опыт показывает, что часто случайные числа τ_i имеют логарифмически-нормальное распределение. Однако в первом приближении иногда полагают поток восстановлений простейшим с параметром $\Lambda_в=1/T_в$, где $T_в$ — среднее время восстановления (одного отказа).

Важные критерии Н. восстанавливаемых изделий: коэфф. готовности

$$k_г=T/(T+T_в)$$

и коэфф. использования

$$k_и=T/(T+T_в+T_и),$$

где $T_и$ — среднее время профилактики, приходящееся на один отказ.

Экономические характеристики надежности. Для экономич. оценки Н. можно использовать очень большое число различных стоимостных хар-к, прямо или косвенно связанных с рассмотренными выше хар-ками Н. Одна из таких хар-к зависит от средней стоимости $C_в$ затрат на восстановление одного отказа. Если в течение года рассматриваемое изделие в среднем работает $t_р$ часов, то ср. число отказов за год работы $t_р/T$. Общая ср. стоимость затрат на восстановление отказов в течение года $t_р C_в/T$ и относит. величина этих затрат

$$k_с=t_р C_в/TC,$$

где C — стоимость самого изделия. Безразмерный коэфф. $k_с$ — одна из экономич. хар-к Н.

Экономич. оценкой Н. может также служить стоимость технич. обслуживания в течение определ. периода эксплуатации, стоимость потерь из-за простоев, вызванных отказами оборудования и др. Можно также рассматривать критерии экономич. эффективности применения изделий в народном х-ве, учитывающие хар-ки Н. изделий.

Огромное народно-хозяйственное значение Н. продукции можно пояснить примерами: 1) На ремонт металлообрабатывающих станков, занятых в отечеств. пром-сти, затрачивается неск. миллиардов рублей в год; экономич. эффект повышения их Н. очевиден. 2) Наша автомобильная пром-сть выпускает в год более 500 тыс. машин; повышение их долговечности только на 10% равносильно дополнит. выпуску более 50 тыс. машин без строительства новых заводов, без больших дополнительных затрат на материалы и рабочую силу.

Повышение Н. изделий позволяет существенно снизить эксплуатационные расходы, рациональнее использовать производственные мощности, сырье и материалы. Повышение Н. не дается даром — оно требует определенных затрат, к-рые могут приводить к повышению себестоимости изделий. Однако повышение Н. часто рентабельно, даже если оно влечет за собой нек-рое повышение себестоимости. Это становится ясным, если учитывать технико-экономич. показатели, оценивающие не только себестоимость продукции, но и затраты, связанные с использованием этой продукции в нар. х-ве. Напр., пусть ср. долговечность осветительной электролампы варианта A равна 2000 часов при себестоимости 10 коп.; благодаря нек-рым технич. мероприятиям создан вариант лампы $Б$ со ср. долговечностью 2500 часов и себестоимостью 11 коп. Для освещения 100 рабочих точек в течение 10 000 часов потребуется в ср. 500 ламп варианта A общей стоимостью 50 руб. или 400 ламп варианта $Б$ стоимостью 44 руб. Т. обр., применение ламп $Б$ с большей себестоимостью и повышенной Н. оказывается выгодным для нар. х-ва.

Не всякое повышение Н. является выгодным — существует оптимальная Н.: пусть в том же примере с лампами есть еще варианты ламп $В$, $Г$ и $Д$, хар-ки к-рых указаны в табл.

	Вариант лампы				
	A	$Б$	$В$	$Г$	$Д$
Себестоимость (коп.)	10	11	12	13	14
Ср. долговечность (час.)	2000	2500	2800	2900	3000
Число ламп, необходимое для освещения 100 точек в течение 10 000 час.	500	400	358	345	333
Общая стоимость этих ламп (руб.)	50	44	43	45	47

Из этой табл. видно, что оптимальной Н. обладают лампы варианта B (2800 час.), т. к. при их применении расходы минимальны (43 руб.).

Расчет надежности при отсутствии резервирования. Если невосстанавливаемое изделие состоит из n независимых элементов, имеющих интенсивности отказов $\lambda_i(t)$ $(i=1,2\ldots,n)$, то вероятность безотказной работы изделия рассчитывается по ур-нию (3), где надо положить

$$\lambda(t)=\sum_{i=1}^{n}\lambda_i(t).$$

При постоянстве интенсивности отказов всех элементов ср. долговечность изделия рассчитывается по ур-нию

$$t_{ср}=1/\sum_{i=1}^{n}\lambda_i.$$

Если восстанавливаемое изделие состоит из n независимых элементов, имеющих плотности вероятности долговечности $f_i(t)$ и ср. долговечности $t_{ср\,i}$ $(i=1,2\ldots,n)$, то параметр потока отказов рассчитывается по ур-нию

$$\Lambda(t)=\sum_{i=1}^{n}\Lambda_i(t),$$

где

$$\Lambda_i^*(z)=\frac{f_i^*(z)}{1-f_i^*(z)},$$

а звездочка обозначает преобразование Лапласа. При достаточно большом t, когда можно считать параметр потока отказов пост., справедливо при любом законе распределения долговечности элементов ур-ние

$$\Lambda(t)=\Lambda=\sum_{i=1}^{n}1/t_{ср\,i}.$$

Если восстанавливаемое изделие состоит из k блоков, имеющих ср. наработки на отказ T_i и средние времена восстановления $T_{вi}$ $(i=1,2\ldots,k)$, то соответствующие хар-ки для всего изделия рассчитываются по ур-ниям

$$\frac{1}{T}=\sum_{i=1}^{k}\frac{1}{T_i},\quad T_в=T\sum_{i=1}^{k}\frac{T_{вi}}{T_i}.$$

Расчет надежности при наличии резервирования. Резервирование, т. е. введение в состав изделия избыточности (резервных элементов, блоков, устройств) — одно из эффективных средств повышения Н. Существует большое число различных вариантов резервирования, из к-рых важнейшие: постоянное резервирование, при к-ром резервные устройства (элементы) присоединены к основным в течение всего времени работы и находятся в одинаковом с ними рабочем режиме. При пост. резервировании возможны различные способы соединения элементов — последоват., паралл. и смешанное (рис. 2). Резервирование замещением, при к-ром резервные устройства (элементы) замещают основные после их отказа. Это замещение может происходить автоматически (при помощи автоматич. переключающих устройств) либо вручную. При резервировании замещением отличают 3 варианта резерва: 1) нагруженный резерв — резервное устройство (элемент) в таком же рабочем режиме, как и основное устройство; 2) облегченный резерв — резервное устройство в неполном рабочем режиме; 3) ненагруженный резерв — резервное устройство в нерабочем состоянии. В случае пост. резервирования будем отличать два типа отказов: а) обрыв и б) замыкание. При последоват. соединении элементов отказ типа «обрыв» хотя бы в одном из элементов приводит к отказу системы элементов, а отказ типа «замыкание» приводит к отказу системы только, если он имеет место у всех элементов системы. Для паралл. соединения элементов в предыдущем рассуждении меняются местами «обрыв» и «замыкание». Если вероятность обрыва элемента $q_1(t)$, а вероятность замыкания $q_3(t)$, то $q(t)=q_0(t)+q_3(t)$ — вероятность отказа элемента по какой-либо причине. Вероятность безотказной работы системы из n последовательно соединенных элементов:

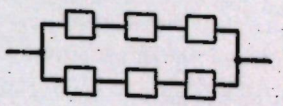


Рис. 2. Смешанное соединение элементов.

$$p_n(t)=[1-q_0(t)]^n-[q_3(t)]^n.$$

Вероятность безотказной работы системы из m параллельно соедин. элементов:

$$p_m(t)=[1-q_3(t)]^m-[q_0(t)]^m.$$

Для системы (рис. 2)

$$p(t)=\{1-\{q_3(t)]^3\}^2-\{1-[1-q_0(t)]^3\}^2.$$

Из приведенных ур-ний можно найти наивыгоднейший вариант резервирования, к-рый существенно зависит от соотношения величин $q_0(t)$ и $q_3(t)$.

В случае резервирования замещением будем считать, что: в процессе эксплуатации отказавшие устройства не восстанавливаются; имеется одно основное устройство и $n-1$ одинаковых с ним резервных устройств. Эти устройства работают после окончания периода приработки и имеют ср. наработку T на отказ. Тогда в случае нагруженного резерва вероятность безотказной работы всей системы из n устройств $P_n(t)=1-(1-e^{-\frac{t}{T}})^n$ и средняя наработка на отказ всей этой системы $T_n=T\left(1+\frac{1}{2}+\ldots+\frac{1}{n}\right)$.

В случае ненагруженного резерва расчет ведется по ур-ниям

$$p_n(t)=e^{-\frac{t}{T}}\sum_{i=0}^{n-1}\frac{t^i}{T^{i}i!};\quad T_n=nT.$$

Случаи резервирования с восстанавливаемым резервом, для простоты рассмотрим в предположении, что система состоит из двух одинаковых устройств, из к-рых одно работает, а др. включается в работу только при появлении отказа в первом (ненагруженный резерв); восстановление вышедшего из строя устройства начинается немедленно после отказа; времена работы до отказа и длительности восстановления подчиняются экспоненциальным законам с интенсивностями $\lambda=\frac{1}{T}$ и $\mu=\frac{1}{T_в}$. В этом случае вероятность безотказной работы системы в промежутке времени от 0 до t (если в момент $t=0$ оба устройства были исправны) найдется по ур-нию

$$p(t)=\frac{a_1}{a_1-a_2}e^{-a_2t}-\frac{a_2}{a_1-a_2}e^{-a_1t},$$

где

$$a_1=\frac{1}{T}(1+\gamma+\sqrt{2\gamma+\gamma^2}),$$

$$a_2=\frac{1}{T}(1+\gamma-\sqrt{2\gamma+\gamma^2}),$$

$$\gamma=T/2T_в.$$

Ср. время до первого отказа системы

$$T_c=2(1+\gamma),$$

а ср. время простоя системы (когда оба устройства одновременно восстанавливаются)

$$T_{вс}=T_в/2.$$

При проектировании новых изделий очень важно выбирать оптимальные способы резервирования. При этом приходится решать задачи такого типа: заданы стоимости, веса, объемы или др. хар-ки блоков. Требуется выбрать такой способ резервирования (количества резервных блоков разных типов и их соединения), при к-ром Н. оказывается не ниже заданной, а стоимость, вес, объем или др. хар-ки изделия становятся минимальными. Возможна и такая постановка задачи: при заданных ограничениях на стоимость, вес, объем и др. выбрать такой способ резервирования, при к-ром Н. изделия становится максимальной.

Опытное определение хар-к надежности. Источниками опытных данных для определения хар-к Н. могут быть: 1) спец. испытания на Н. (долговечность) изделий и их элементов; 2) опытная и подконтрольная эксплуатация (в том числе опытное и подконтрольное хранение); 3) сбор статистич. данных о поведении изделий и их элементов в обычной эксплуатации (в том числе и при обычном хранении).

Испытания на долговечность невосстанавливаемых изделий проводятся обычно в след. порядке. Достаточно большое число N_0 изделий подвергается длительным испытаниям в определ. (заданных) условиях. При этом через определ. (достаточно малые) промежутки времени Δt проверяются определяющие параметры испытуемых изделий и выявляются отказавшие изделия. Обозначим через t середину интервала Δt, через ΔN — число изделий, отказавших за время Δt, через $N(t)$ — среднее число исправных элементов на интервале Δt; тогда опытная интенсивность отказов находится по ур-нию

$$\lambda(t)=\frac{\Delta N}{\Delta t N(t)}.$$

Оценку Н. восстанавливаемых изделий по результатам спец. испытаний или по данным, полученным при их эксплуатации (после окончания периода приработки), производят на основе данных о работе N изделий, причем должны быть известны длительности $t_1, t_2, \ldots, t_N$ их работы и количества $m_1, m_2, \ldots, m_N$ отказов, полученных во время работы. Тогда опытная средняя наработка на отказ находится по ур-нию

$$T=\sum_{i=1}^{N}t_i/\sum_{i=1}^{N}m_i.$$

Оценка точности опытных величин $\lambda(t)$ и T может быть произведена по методам математич. статистики при помощи доверительных границ, отвечающих заданной доверительной вероятности.

Контроль надежности на производстве. Для контроля Н. на произ-ве применяются в основном: 1) приемо-сдаточные испытания, к-рым подвергается каждая изготовленная партия изделий (или представители от каждой партии изделий); 2) типовые испытания, к-рые проводятся периодически (неск. раз в год) над случайно отобранными образцами изделий. Результаты этих испытаний сравниваются с нормативами, установленными в технич. условиях, после чего принимаются решения (о приемке или забраковании, о необходимости пересмотра или уточнения технологич. процесса и т. п.). На практике применяются 3 способа организации контроля: 1) контроль при помощи однократной выборки (при фиксированном объеме испытаний); 2) контроль при помощи двухкратной выборки (при двух заранее запланированных объемах испытаний, из к-рых чаще используется меньший объем, а реже — больший объем испытаний); 3) контроль по методу последоват. анализа, при к-ром объем испытаний заранее не фиксируется, а решение об окончании испытаний принимается в зависимости от Н. испытуемых изделий. В основе этих способов организации контроля лежат принципы приемочного *контроля статистического*.

Лит.: Автоматы. Сб. ст., под ред. К. Э. Шеннона и Дж. Маккарти, пер. с англ., М., 1956; Астафьев А. В., Окружающая среда и надежность радиотехнической аппаратуры, М.—Л., 1959; Бебиашвили Ш. Л., Основные вопросы теории резервирования, «ИАН СССР. ОТН», 1956, № 2; Белов Ф. И. и Соловейчик Ф. С., Обзор трудов 6 симпозиума по надежности и контролю качества радиоэлектронной аппаратуры, [11—13 янв. 1960, Вашингтон], М.—Л., 1961; Беляев Ю. К., Линейчатые марковские процессы и их приложение к задачам теории надежности, в кн.: Труды Всес. совещания по теории вероятностей и математической статистике, Вильнюс, 1962; Бруевич Н. Г., Вопросы надежности и точности электронных устройств в машиностроении и приборостроении, «ИАН СССР. Энергетика и автоматика», 1961, № 1; Вопросы долговечности машин, Киев, 1960 (Научн. тр. Киевского автомобильно-дорожного ин-та, вып. 6); Вопросы точности и надежности в машиностроении. Сб. ст., под ред. Н. Г. Бруевича, М., 1962; Дружинин Г. В., О профилактических работах в устройствах автоматики, «АиТ», 1962, № 5; Климко Э. И., Надежность систем своссстанавливаемым резервом, «ИАН СССР. Энергетика и автоматика», 1961, № 3; Кугель Р. В., Долговечность автомобилей, М., 1961; Левин Б. Р., Некоторые вопросы теоретического анализа надежности радиоэлектронного оборудования, «Р-ка», 1959, т. 14, № 6; Леонтьев Л., К вопросу об оценке надежности сложных систем, «ИАН. Латв. ССР», 1961, № 6; Майоров А. В., К теории резервирования в системах автоматики, «ИАН СССР. ОТН», 1956, № 9; Маликов И. М. [и др.], Основы теории и расчета надежности, 2 изд., Л., 1960; Марьянович Т. П., Надежность системы при наличии резерва, «ДАН УССР», 1961, № 7; Надежность радиоэлектронной аппаратуры. [Сб. ст.], М., 1958 и 1960; Повышение долговечности деталей машин. Сб. ст., под ред. Э. А. Сателя и Д. Н. Решетова, М., 1959; Повышение износостойкости и срока службы машин, в кн.: Сборник трудов III Киевской научно-технич. конференции по вопросам повышения износостойкости и срока службы машин, т. 1—2, Киев, 1960; Половко А. М., Новиков И. Е., О резервировании с дробной кратностью, «ИАН СССР. Энергетика и автоматика», 1961, № 3; Проблемы надежности радиоэлектронной аппаратуры. (Сб. докл. 5 нац. симпозиума. США, 12—14 янв. 1959), пер. с англ., М., 1960; Прочность и долговечность деталей машин. Сб. ст., Минск, 1961 (Сб. тр. Ин-та машиноведения и автоматизации АН БССР, вып. 2); Радимов О. К., О количественной оценке эксплуатационной надежности вычислительных систем, «ИАН СССР. Энергетика и автоматика», 1960, № 2; Синица М. А., О резервировании способом замещения, «Р-ка», 1960, т. 15, № 12; Сифоров В. И., Линковский Г. Б., О статистической оценке надежности «стареющих» приборов, там же, 1962, т. 17, № 1; Смолицкий Х. Л., Чукреев П. А., К вопросу об оптимальном резервировании аппаратуры, «ИАН СССР. Энергетика и автоматика», 1959, № 4; Соловьев А. Д., Об определении резервов для систем многократного действия, там же, 1962, № 2; Сорин Я. М., Надежность радиоэлектронной аппаратуры, М.—Л., 1961; Теория надежности в области радиоэлектроники. Терминология, под ред. В. И. Сифорова, М., 1962; Трейер В. Н., Некоторые вероятностные расчеты надежной работоспособности автоматических систем, в кн.: Сб. трудов Ин-та машиноведения и автоматизации АН БССР, 1961, [вып. 1]; Хинней К., Уолш К., Радиодетали и проблема их надежности, пер. с англ., М., 1960; Шор Я. Б., Статистические методы анализа и контроля качества и надежности, М., 1962; Эрпшер Ю. Б., Надежность и структура автоматических станочных систем, М., 1962; Barlow R., Hunter L., Optimum preventive maintenance policies, «Operat. Res.», 1960, v. 8, № 1; Bellman R., Dreyfus S., Dynamic programming and the reliability of multicomponent devices, там же, 1958, v. 6, № 2; Calabro S. R., Reliability principles and practices, N. Y., 1962; Earles D. R., Reliability growth prediction during initial design analysis. Proc. 7-th Nat. Symp. on reliability and quality control in electronics, N. Y., 1961; Epstein B., Reliability of some two unit redundant systems. Proc. 6-th Nat. Symp. on reliability and quality control in electronics [N. Y.], 1960, p. 469—476; Lloyd D. K., Lipow M., Reliability: management, methods, mathematics, N. Y., 1962.

Б. В. Гнеденко, Я. Б. Шор.

НАДЕЖНОСТЬ МАШИН (machine reliability; fiabilité des machines; Zuverlässigkeit der Maschinen) зависит от ряда показателей, имеющих неодинаковое значение для работоспособности различных технич. устройств; наиболее общий показатель — равномерность износа рабочих частей, к-рая достигается равнопрочностью деталей. Если равнопрочность экономически не выгодна или технически не достижима, регламентируют смену изнашивающихся деталей. Н. м. зависит также от естественного старения материалов, т. е. изменения со временем их химич. состава, структуры и физико-химич. свойств. Изменения остаточной деформации и гистерезиса в процессе эксплуатации также влияют на Н. м.

Для большинства машин основным показателем надежности является полноценная выработка их *ресурса* при миним. затратах на ремонт. В системах электро-, водо-, газо-, теплоснабжения решающий фактор надежности — бесперебойность их функционирования. На транспорте основными показателями Н. м. служат безопасность и соблюдение графика движения. Надежность электрич., пневматич. и гидравлич. оборудования характеризуется безотказностью работы; надежность контрольно-измерит. приборов определяется постоянством показаний. Т. о., в разных отраслях народного хозяйства инженерная сущность проблемы Н. м. различна. При создании новых машин, аппаратов и приборов решающее значение имеет правильный учет всех возможных условий их эксплуатации, отражаемый в технич. заданиях на проектирование. Для обеспечения Н. м. их конструкции рассчитывают на оптимальную долговечность с экономически оправданными сроками службы как отд. деталей и узлов, подвергающихся наибольшему износу, так и конструкции в целом; при этом учитывают стоимость ремонта и моральное старение. Должны обеспечиваться: защита от перегрузок, герметизация трущихся деталей, саморегулирование и компенсация износа, сближение поверхностной и объемной прочностей. Н. м. зависит от правильного решения в конструкциях вопросов трения и смазки. Она существенно повышается при использовании в подшипниках скольжения антифрикционных биметаллич. и синтетич. материалов, различных суспензий и присадок к маслам, применением систем централизованной смазки. Порядок ремонта и его периодичность также влияют на Н. м. и регламентируются при конструировании. Ремонтопригодность изделий в значительной мере определяется доступностью для осмотра и возможностью удобной и быстрой замены изношенных частей.

Н. м., достигнутая в лабораторных условиях и в процессе проектирования, еще не гарантирует действительной надежности изделия в его реальном воплощении. Многие тонкости конструкции, не поддающиеся учету в чертежах, обнаруживаются при изготовлении опытного образца. Всесторонние исследования опытного образца в различных критич. режимах и неблагоприятных внешних условиях на достаточно совершенных экспериментальных установках вскрывают ряд конструктивных недочетов, устранение к-рых повышает Н. м. Последующие квалифицированные испытания как отдельных деталей и узлов, так и изделия в целом ускоренными методами на спец. стендах позволяют выявить новые факторы конструктивной ненадежности. Лишь после ее ликвидации создается образец для окончательной доводки конструкции.

При правильной постановке дела новая модель проверяется и полностью дорабатывается на заводе до начала серийного выпуска; определяется не только ее работоспособность, но и надежность при длительной работе. Это требует наличия на заводах хороших эксперимент. цехов с современным и обновляемым оборудованием, позволяющим проверять и уточнять предусмотренную проектом технологию изготовления. Путем расчленения подготавливаемых к произ-ву образцов на детали, узлы и отдельные агрегаты, можно в экспериментальном цехе проверить долговечность всего изделия в относительно короткие сроки задолго до того, как будет готово изделие в целом. Наилучшим образом это достигается контрольными машинами комплексных испытаний; оснастка ими экспериментального произ-ва облегчает доводку конструкции в опытном образце до передачи ее в серийное произ-во.

Надежность изделий на стадии их пром. изготовления обеспечивается на пром. предприятиях высокой общей культурой произ-ва, строгим соблюдением установленных технологич. режимов и высокой ответственностью всего персонала за качество продукции.

Применение самонастраивающихся систем автоматич. управления и оптимизирующих управляющих машин обеспечивает правильный ход технологич. процессов при изменениях качества сырья, параметров энергоносителей, состояния обрабатывающих средств и внешних условий. Н. м. зависит от видов и качества отделки и защитных покрытий, а также совершенства способов их нанесения.

Для обеспечения высокой Н. м. большое значение имеет совершенство оборудования испытательных станций, проверяющих серийную и массовую продукцию на выходе из произ-ва. Наиболее эффективны быстродействующие автоматич. испытательные машины и анализаторы с вычислит. устройствами, приспособленные для выдачи готовых результатов испытаний по всем контрольным показателям в стандартной форме. Ускоренные испытания изделий на стендах, имитирующих транспортировку, длит. хранение и действит. условия эксплуатации, позволяют выявлять их надежность, максимально приближаясь к натуральным условиям. При такой постановке контроля допущенная при изготовлении ненадежность обнаруживается на произ-ве, а не у потребителя, что избавляет нар. х-во от огромных потерь, вызываемых перебоями в работе и преждевременным выходом изделий из строя, а также от тяжелых аварий и катастроф.

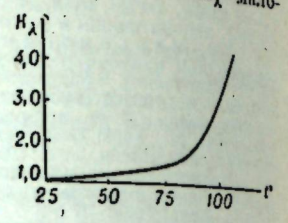
Высокая надежность изделий существенно понижается при неправильном их хранении и транспортировке.

Применение изделий не по назначению, в условиях, на к-рые они не рассчитаны, часто вызывает их преждевременный выход из строя. Это особенно пагубно влияет на надежность сложного оборудования. Перебои в работе оборудования часто происходят от вредного действия окружающей среды, содержащей избытки пыли, влаги, соли, агрессивных паров и газов, резких колебаний темп-ры, вибраций и других факторов, разрушающих электротехнич. и иные комплектующие изделия нормального исполнения. Повышение эксплуатационной надежности сложных установок, в особенности автоматич., комплектуемых из многих машин, аппаратов и приборов, требует применения только специализированных изделий, рассчитанных на данные условия. Эксплуатационная Н. м. в огромной степени зависит также и от правильности наладки, регулировки, юстировки, регулярности ухода, соблюдения сроков и правильности профилактич. осмотров, планово-предупредительных ремонтов.

Лит. см. при ст. *Надежность*. *В. Э. Низэ.*

НАДЕЖНОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ — см. *Передачи информации верность*.

НАДЕЖНОСТЬ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫХ ПРИБОРОВ (semiconductor instrument reliability; fiabilité d'appareils à semi-conducteurs; Zuverlässigkeit von Halbleitergeräten) зависит от их конструкции, качества применяемых материалов и от совершенства технологич. процессов, а также от режимов и условий эксплуатации. Воздействие повышенных темп-р, электрич. (мощностей, токов и напряжений) и механич. (ударов, вибрации) нагрузок увеличивает интенсивность отказов ПП приборов. В бортовой аппаратуре самолетов они значительно выше, чем в наземной стационарной аппаратуре. На рис. показано относит. изменение интенсивности отказов K_λ маломощных германиевых транзисторов в зависимости от температуры окружающей среды. Особенно сильно Н. п. п. снижается при превышении предельных режимов, допускаемых тех. условиями или стандартами. Однако ряд типов ПП приборов успешно выдерживает воздействие пост. ускорений порядка 20 000 g, ударов с ускорением $\geqslant$1000 g, длительной вибрации при ускорении в 30 g и др. механич. воздействия. Интенсивность отказов ПП приборов зависит и от схем, в к-рых они работают. Для транзисторов, работающих в импульсных схемах, она на 20—50% ниже, чем для схем усиления. Циклич. подача питающих напряжений на электроды ПП прибора также приводит к снижению Н. п. п. Многие типы ПП приборов в начальный период работы длительностью 100—200 часов, имеют повышенную интенсивность отказов. По окончании этого периода она снижается; затем интенсивность отказов по времени становится приблизительно постоянной. Отказы в ранний период в основном носят случайный характер. Причинами их являются обычно нарушения технологии производства, негерметичность корпусов, загрязнение поверхности ПП, нарушения контактов в цепях электродов. Введение в технологию производства стопроцентной тренировки ПП приборов позволяет отбраковывать приборы со скрытыми дефектами и тем самым ликвидировать или резко сократить повышенную начальную интенсивность отказов.



Опыт использования транзисторов показывает, что изменения во времени основных параметров транзисторов происходят следующим образом: коэфф. усиления по току (β) у германиевых приборов падает, а у кремниевых — растет; обратный ток коллекторного перехода ($I_{ко}$) увеличивается. У диодов наибольшее изменение в процессе работы претерпевает $I_{обр}$. Параметры прямой ветки вольтамперной характеристики изменяются обычно незначительно.

В нек-рых случаях наблюдается аномальный характер изменения параметров ПП приборов в процессе их работы, напр. рост β, что иногда связано с постепенным улучшением состояния поверхности ПП. Технологии получения n—p-переходов — планарная, эпитаксиальная, диффузионно-сплавная — позволяют значительно повысить Н.п.п. и стабильность их работы. Так, интенсивность отказов кремниевых диодов, изготовленных по диффуз. технологии, достигает $2\cdot10^{-9}$—10^{-8} 1/час. Этому способствуют также более тщательная очистка поверхности ПП, нанесение на поверхность перехода защитных покрытий, тщательная герметизация прибора с применением холодной сварки корпуса прибора с ножкой, помещение внутрь корпуса спец. геттера, поглощающего остатки водяных паров и газов, и др. меры. Эти мероприятия не только повышают Н. п. п. в работе, но и сокращают их отказы при хранении.

Лит.: Bilinski J. R., Merrill R., Selecting transistors for radiation environments, «Electronics», 1959, v. 32, № 52, p. 38—40. См. также лит. при ст. *Надежность*. *И. Г. Бергельсон.*

НАДЕЖНОСТЬ СИСТЕМЫ ТЕЛЕМЕХАНИКИ (remote-control system reliability; fiabilité d'un système de télécommande; Zuverlässigkeit von Fernwirksystemen) (системы ТУ-ТС) характеризуется средним временем работы между повреждениями, вероятностью отказа или ложного срабатывания, средним временем простоя отдельных каналов или системы в целом и т. д. Большинство элементов систем ТУ-ТС — дискретного действия, работает по принципу «да—нет». Поэтому, изменения параметров элементов в больших пределах не приводят к отказам выполнять возложенные на них ф-ции. Отказы элементов, как правило внезапные, наступают, обычно, при полной потере их свойств (пробой конденсаторов или диодов, перегорание сопротивлений и т. п.). При длительном использовании возможно постепенное изменение параметров деталей в связи с их старением. Характер отказов зависит от типа элементов. Для контактных электромеханич. реле характерны как случайные отказы, напр., перегорание обмотки реле, так и постепенные, вызванные нарушением контактов вследствие их разрегулировки или обгорания. Для бесконтактных элементов (магнитные элементы с прямоугольной петлей гистерезиса, ПП диоды и триоды) постепенные отказы могут быть сведены до малой величины правильным выбором режимов и технологии изготовления элементов и схем. Это позволяет для уменьшения вероятности случайных отказов широко применять метод недогрузки, при к-ром элементы используются с большими запасами по току и напряжению.

Для систем ТУ-ТС характерно чередование периодов использования, в течение к-рых происходит передача информации, с периодами готовности, когда передача информации отсутствует, но система в любой момент времени должна быть готова к передаче. Для пром. систем обычно длительность периода готовности (неск. часов и более) на порядки превышает длительность передачи (сек. или доли сек.). Поэтому, обычно, неисправности происходят во время периода готовности и, следовательно, нек-рые из них могут быть устранены до момента передачи сообщения. Такие неисправности не приводят к потере или искажению информации. Поэтому, одна только вероятность отказа элементов не может охарактеризовать полностью Н. с. т. и должна быть дополнена др. показателями. Вместе с тем, вероятность отказа элементов является необходимым показателем, т. к. именно она определяет объем ремонтных работ в процессе эксплуатации системы. Кроме того, отказ элементов лежит в основе подавляющего большинства отказов системы. Последние могут быть разбиты на два типа: ложное срабатывание и отказ в передаче информации. При ложном срабатывании происходит не предусмотренное включение или отключение объектов, причиной к-рых является повреждение элементов. В нек-рых случаях ложное срабатывание может произойти практически мгновенно вслед за повреждением элементов; в др. случаях повреждение элементов лишь создает предпосылки для ложного срабатывания, последнее же может произойти через нек-рое время — во время передачи информации или во время нового повреждения. Отказ в передаче сообщений выражается в том, что те или иные команды или сигналы не достигают исполнит. цепей и, т. о., не исполняются. Естественно, что отказ, независимо от того, когда произошло повреждение элементов, всегда совпадает с передачей информации. Т. к. системы ТУ-ТС обычно многофункциональны и не все элементы участвуют в образовании любого сообщения, то отказ не обязательно совпадает с первой вслед за повреждением передачей. Отказ наступит во время той передачи, при к-рой используется поврежденный элемент. Последствия ложного срабатывания и отказов могут быть различными. В одних случаях наиболее опасными следует считать ложные срабатывания, в др. — отказы. При проектировании систем общепромышленного назначения, когда заранее неизвестно, какими именно объектами будет управлять система, принято считать ложные срабатывания и отказы недопустимыми. Первые наиболее опасны.

Мероприятия по уменьшению вероятности ложного срабатывания или отказа могут быть различными. При этом уменьшение вероятности ложного срабатывания часто влечет за собой увеличение вероятности отказа, и наоборот. Уменьшение вероятности ложного срабатывания достигается рядом способов: 1) использование элементов и их соединений, к-рые характеризуются малой вероятностью повреждений, влекущих за собой ложное срабатывание системы. Напр., при включении исполнит. реле непосредственно в коллекторную цепь ПП триода вероятность ложного включения реле в результате пробоя триода относительно велика. В то же время включение реле через разделит. тр-р в импульсную триодную схему почти гарантирует невозможность ложного включения реле, т. к. практически при любом повреждении триода или тр-ра реле обесточивается; 2) резервирование деталей, элементов блоков или систем. Наиболее часто применяется дублирование элементов, напр. диодов, конденсаторов. Резервирование блоков и систем осуществляется в основном в спец. случаях на подвижных объектах; 3) создание определенной избыточности в сигнале и аппаратуре, благодаря к-рой не все возможные состояния выходных элементов используются как рабочие. При этом рабочие и нерабочие состояния выбираются с таким расчетом, чтобы наиболее вероятные повреждения переводили бы систему в нерабочее состояние. Это состояние фиксируется схемой защиты, к-рая предотвращает переключение исполнит. цепей и создает в системе положение защитного отказа. Этот способ, позволяющий защищаться не только от повреждений аппаратуры, но и от влияния помех в канале связи, широко применяется в телемеханике; 4) разделение команды управления на предварительную и исполнительную. При выполнении предварит. команды возможен контроль исправности устройства (см. *Команда телеуправления*). Эти мероприятия уменьшают вероятность ложного срабатывания, происходящего немедленно вслед за повреждением аппаратуры. Вероятность ложных срабатываний, к-рые происходят не в момент повреждений,

ния элементов аппаратуры, а совпадают с последующими повреждениями или передачей информации, может быть ограничена введением в систему самоконтроля с сигнализацией неисправностей.

В системах ТУ-ТС непрерывного действия возможен почти полный контроль с практически немедленной сигнализацией неисправности при очень малом количестве аппаратуры. Эффективность самоконтроля зависит также от времени, необходимого для устранения неисправности, к-рое, в свою очередь, включает в себя время поездки на объект, где произошло нарушение, и время ремонта. Последнее может быть доведено до минимума построением системы на съемных взаимозаменяемых блоках. При этом самоконтроль должен осуществляться на уровне этих блоков. Если описанные мероприятия реализованы, то однократное повреждение не должно привести к ложному срабатыванию: для этого требуется повреждение по крайней мере двух элементов аппаратуры.

Одним из наиболее эффективных средств против системного отказа является резервирование. Если при этом применяются самоконтроль или профилактич. осмотры, то вероятность системных отказов может быть сделана достаточно малой. Самоконтроль может дать существ. уменьшение вероятности отказов системы и в том случае, когда резервирование отсутствует. При этом требование высокой скорости ремонта становится особо важным. В связи с многофункциональностью систем ТУ-ТС во многих случаях желательно, чтобы при повреждении к.-л. элемента возможно бóльшая часть системы продолжала функционировать. Так, если вышел из управления один из объектов, желательно сохранить возможность управления остальными объектами. Повышение Н. с. т. в смысле уменьшения вероятности системного отказа при этом может быть достигнуто увеличением ее структурной автономности. С этой целью следует по возможности сокращать количество общих элементов, участвующих в образовании различных каналов системы. *В. А. Жожишвили.*

НАДЕЖНОСТЬ СТРУКТУРНАЯ (structural reliability; fiabilité de structure; strukturelle Zuverlässigkeit) вычислительной или управляющей системы — свойство системы, позволяющее ей устойчиво выполнять свои функции при появлении ошибок в отдельных ее частях. Известны различные способы повышения Н. с. за счет использования избыточного оборудования. Эти способы можно разделить на две группы: методы обнаружения ошибок с (помощью спец. средств аппаратурного контроля и методы автоматич. исправления ошибок.

Эффективность этих методов зависит от характера возникающих в системе ошибок (определяемых физич. особенностями системы) и от требований, предъявляемых к функционированию системы (что зависит от особенностей объекта управления или класса решаемых задач).

Ошибки в системах делятся на воспроизводимые (систематические) и невоспроизводимые (случайные сбои). В первом случае необходимо использовать аппаратуру, заменяющую вышедшую из строя, а во втором — может оказаться достаточным при обнаружении ошибки повторить некоторый этап процесса.

Требования к надежности вычислит. систем бывают двух типов. В нек-рых случаях нужно только получить достаточное количество полезного рабочего времени и гарантировать отсутствие ошибок за это время. Такие условия работы в принципе можно обеспечить хорошими средствами обнаружения и локализации ошибок и конструктивными возможностями быстрой смены неисправных блоков. В других случаях необходимо гарантировать безошибочную работу системы управления в течение заданного времени (цикла управления). При этом необходимо пользоваться резервным оборудованием, заменяющим выходящее из строя.

Средства, обеспечивающие Н. с. системы, основаны на пространственно-временно́й избыточности в системе. Временна́я избыточность используется для проверок решения задач, таких как двойной просчет, проверка гладкости решения по поведению разностей высших порядков, подстановка найденного решения в исходную систему ур-ний, подсчет контрольных сумм при считывании и записи массивов информации и т. п. Кроме того, временная избыточность используется для проверки исправности оборудования и локализации ошибок путем периодической прогонки серии «плавающих» тестов. Первая группа тестов определяет правильность функционирования системы, а вторая — при обнаружении неисправности включается для локализации последней. Плавающие тесты позволяют определить воспроизводимые ошибки, а проверки правильности решения задачи позволяют выявить невоспроизводимые ошибки.

Пространственная избыточность реализуется в виде дополнит. оборудования для обнаружения ошибок или их компенсации. К первому типу оборудования относятся средства вычисления остатков при арифметич. операциях, устройства для проверки хранимой информации, записанной в помехоустойчивых кодах, имитаторы, позволяющие задавать в систему искусственные внешние условия и проверять правильность функционирования системы или ее частей в этих условиях и т. п.

К средствам использования избыточного оборудования, позволяющим компенсировать выход из строя отдельных частей системы, относятся различные методы резервирования с автоматич. или полуавтоматич. средствами переключения.

Представляет значительный интерес направление, идущее от работы Дж. Неймана, состоящее в том, что не выделяется спец. контрольно-переключающее оборудование, а избыточность вводится во все схемы, так что правильное срабатывание определяется методом «голосования».

Принципиально новым является подход, состоящий в использовании «непрерывных тканей» (см. *Бионика*, *Континуальные модели*). Схемы и блоки, построенные из таких тканей, обладают принципиально высокой устойчивостью к изменению параметров ткани и «омертвению» кусков ткани. Использование таких тканей связано с новым подходом к структуре вычислит. и управляющих систем. Именно из тканей целесообразно делать устройства, моделирующие поведение сложных систем, согласовывая работу этих устройств программным способом.

Лит. см. при ст. *Надежность*. *Ю. А. Шрейдер.*

НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ (electronic instrumentation reliability; fiabilité d'appareillage électronique; Zuverlässigkeit der elektronischen Apparatur) и ее элементов. Как показывает опыт эксплуатации, значит. количество отказов электронной аппаратуры обусловлено выходом из строя комплектующих элементов. Надежность элементов электронной аппаратуры зависит в первую очередь от технологии их изготовления. Опыт радиоэлектронной промышленности показывает, что на отработку совершенной технологии, дающей весьма надежные элементы, уходит значит. время. Поэтому стремление разработчиков аппаратуры применить в своей разработке новейшие (и, как считает разработчик, самые совершенные) элементы является с точки зрения надежности не всегда оправданным.

Наиболее распространенным путем, по к-рому идут разработчики радиоаппаратуры, является выдвижение требований об уменьшении интенсивности отказов комплектующих элементов. Интенсивность отказов удобно записывать в виде:

$$\lambda = a \cdot 10^{-b},$$

где a лежит в пределах от 1 до 10. При этом существенной величиной является показатель степени b. Обычные приемно-усилительные лампы имеют $b=5—6$, а обычные сопротивления и конденсаторы — $b=6—7$.

Отказы электровакуумных приборов можно разбить на две категории. 1) Внезапный выход ламп из строя, возникающий в период приработки аппаратуры вследствие, гл. обр., недостаточной отработки технологич. процессов, загрязненности производственных помещений и плохого контроля. 2) Потеря работоспособности ламп. Основные причины: повышение или понижение напряжения накала, увеличение коэфф. нагрузки, увеличение темп-ры баллонов ламп, вибрации и др. Зависимость интенсивности отказов от напряжения накала в нек-рых случаях можно приближенно выразить формулой:

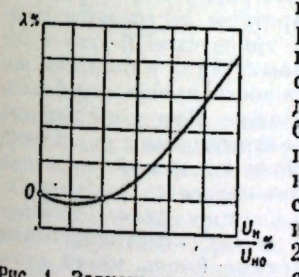


Рис. 1. Зависимость интенсивности отказов лампы от напряжения накала.

$$\lambda = 0{,}4\lambda_0 + 0{,}6\,\lambda_0\,(U_н/U_{но})^2,$$

где λ_0 — интенсивность отказов при номинальном напряжении накала; $U_н$ — рабочее напряжение накала; $U_{но}$ — номинальное напряжение накала (рис. 1).

На рис. 2 показана примерная зависимость среднего срока службы сверхминиатюрных ламп от коэфф. нагрузки лампы $K_н$, равного:

$$K_н = \frac{P_н + P_а + P_с}{P_{но} + P_{а\,макс} + P_{с\,макс}},$$

где $P_н$ — мощность, рассеиваемая в системе накала; $P_а$ — мощность, рассеиваемая на аноде; $P_с$ — мощность, рассеиваемая на сетке; $P_{но}$ — номинальная мощность системы накала; $P_{а\,макс}$, $P_{с\,макс}$ — максимально допустимая мощность, рассеиваемая соответств. на аноде и на сетке.

Увеличение коэффициента нагрузки на 10% приводит к резкому сокращению срока службы сверхминиатюрных ламп, т. к. в форсированных режимах работы электроды ламп раскаляются, возрастает газовыделение, появляется возможность возникновения дугового разряда и пробоя между электродами. Поэтому рекомендуется применять лампы в режимах, не превышающих номин. Напряжение накала в случае его хорошей стабилизации можно даже брать на 2—3% ниже номинального.

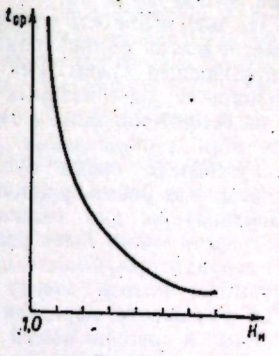


Рис. 2.

Сопротивления являются одними из наиболее распространенных элементов. Их надежность по сравнению с др. элементами относительно велика. Однако отказы аппаратуры, вызываемые выходом из строя сопротивлений, наблюдаются довольно часто. Это объясняется тем, что количество сопротивлений в аппаратуре в 5—6 раз больше, чем электровакуумных приборов. Интенсивность отказов сопротивлений существенно зависит от коэфф. нагрузки. На рис. 3 показана примерная зависимость интенсивности отказов от коэффициента нагрузки, определяемого по формуле: $K_н = P_р/P_0$, где $P_р$ — рассеиваемая мощность, P_0 — номинальная мощность.

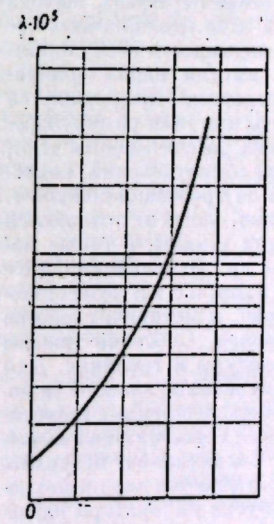


Рис. 3.

Интенсивность отказов существенно уменьшается при уменьшении коэфф. нагрузки. При разработке радиоаппаратуры рекомендуется применять сопротивления в режимах, при к-рых коэфф. нагрузки значительно меньше 1, напр. $K_н=0{,}5$.

Конденсаторы, как и сопротивления, имеют достаточно большую надежность по сравнению с др. элементами радиоаппаратуры. Однако вследствие их большого числа в аппаратуре (на одну лампу приходится 6—8 конденсаторов) количество отказов из-за конденсаторов достаточно велико. Интенсивность отказов конденсаторов также зависит от их коэфф. нагрузки. Под коэфф. нагрузки конденсатора понимают отношение напряжения, приложенного к конденсатору, к номин. напряжению, т. е. $K_н = U_р/U_0$, где $U_р$ — напряжение, приложенное к конденсатору; U_0 — номинальное напряжение. В нек-рых случаях

уменьшение коэфф. нагрузки с 0,75 до 0,25 уменьшает интенсивность отказов почти на порядок. Поэтому при разработке аппаратуры рекомендуется использовать конденсаторы так, чтобы $U_р \leqslant U_0/2$.

На интенсивность отказов радиоламп и радиоэлементов сильно влияет также и темп-ра окружающей среды. Эта темп-ра зависит от мощностей, рассеиваемых на электродах ламп и на сопротивлениях, а также от системы вентиляции и охлаждения. Понижение темп-ры окружающей среды существенно повышает надежность работы радиоламп и радиодеталей. Вентиляторы для охлаждения электронных устройств могут быть разделены на 2 группы: 1) вентиляторы, вызывающие циркуляцию воздушного потока между элементами схемы для улучшения передачи тепла от элементов схемы к рассеивающей тепло поверхности кожуха, 2) вентиляторы, создающие поток охлаждающего воздуха, направляемый на поверхности элементов, на внешнюю теплопроводящую поверхность (напр., на поверхность кожуха прибора) или на поверхность большой площади, созданную специально для повышения теплообмена.

Система вентиляции предназначена для повышения Н. э. а., поэтому надежность системы вентиляции (отсутствие перегрева, выхода из строя подшипников и др.) должна быть существенно выше, чем надежность обслуживаемой аппаратуры. Ко многим видам аппаратуры промышл. электроники предъявляется требование норм. работы при темп-ре окружающей среды —50°С. Схема рассчитывается т. о., чтобы темп-рные уходы сопротивлений, емкостей и индуктивностей не требовали дополнит. регулировки. В механич. узлах используются морозоустойчивые сорта резины, а также морозостойкая смазка и др. В условиях повышенной влажности существенно изменяются электрич. и механич. свойства изоляционных материалов. Особенно тяжелы условия работы аппаратуры в тропиках. Для работы в условиях повышенной влажности используют только высококачественные герметизированные детали (см. *Герметизация электронной аппаратуры*). Все металлич. поверхности специально обрабатываются для предохранения от коррозии. Внутри аппаратуры размещаются осушители, впитывающие влагу. При включении аппаратуры одновременно включаются подогреватели и принудительная вентиляция, что предотвращает конденсацию влаги.

В качестве мер, препятствующих воздействию на аппаратуру песка и пыли, используют какой-либо вид герметизации. Заливка элементов схемы смолой (см. *Заливка электронной аппаратуры*) обеспечивает их защиту от воздействия песка, пыли, влаги и др., а также увеличивает сопротивляемость узла вибрационным нагрузкам. Однако технология заливки смолой сложна, кроме того, стойкость смол во времени, а также при воздействии высоких и низких темп-р недостаточна. Поэтому более распространенным способом защиты является герметизация элементов и аппаратуры в целом. Недостаток герметизации — невозможность вскрытия и ремонта герметизированных узлов. Герметизация всей аппаратуры в общем кожухе упрощает ее разработку и изготовление. Герметизация только уменьшает, но не устраняет полностью необходимость регулярного ухода за аппаратурой.

В эксплуатации электронная аппаратура часто подвергается механич. воздействиям: ударным перегрузкам при транспортировке, вибрации и др. При наличии вибрации интенсивность отказов элементов радиоаппаратуры (особенно электронных ламп и реле) возрастает. Существует три способа крепления аппаратуры, способствующие подавлению ударных и вибрационных ускорений, передающихся через опорные элементы: 1) жесткие амортизаторы (против ударных перегрузок). В них применяются упругие материалы, работающие на сжатие; 2) мягкие амортизаторы (против вибрационных перегрузок). В этих амортизаторах упругие материалы работают на сдвиг; 3) жесткие крепления без амортизаторов. Накоплен большой опыт по защите аппаратуры от ударных и вибрационных перегрузок; промышленность выпускает унифицированные амортизаторы различных типов.

Конструкция аппаратуры оказывает большое влияние на ее надежность. В хорошо спроектированной аппаратуре удельный вес отказов механич. деталей и устройств обычно не превышает неск. %. На Н. э. а. влияет среднее время, затрачиваемое на нахождение и устранение одной неисправности. Это время складывается из двух составляющих: времени на нахождение неисправности и времени на ее устранение. И то и др. зависит от расположения элементов, удобства доступа к ним, т. е. в конечном счете от конструкции. Существующее иногда у разработчиков аппаратуры мнение о том, что время простоя аппаратуры зависит только от обслуживающего персонала, неправильно. Значительное упрощение аппаратуры достигается стандартизацией нек-рых типов схем и устройств. Применение идентичных узлов в большом количестве дает возможность лучше отработать их схему и конструкцию. При этом заметно сокращается время, затрачиваемое на ремонт аппаратуры, ибо обслуживающий персонал имеет дело с меньшим количеством разнотипных устройств. Унификация схем позволяет применить блочный метод конструирования аппаратуры. Стандартные блоки могут изготовляться с применением автоматизированной сборки, что также повышает Н. э. а. Измерит. приборы, встроенные в аппаратуру, значительно сокращают время, идущее на нахождение неисправности. Хорошо выполненная система контроля позволяет быстро обнаруживать неисправности и определять их местонахождение без измерительной аппаратуры общего назначения или при применении ее в минимальном количестве.

Для контроля исправности почти всех электронных устройств требуется участие оператора. Однако современный уровень техники позволяет создавать аппаратуру, которая сама могла бы контролировать правильность своей работы. Такая аппаратура должна иметь в своем составе систему внутреннего контроля, непрерывно проверяющую все основные параметры. При ненормальной величине любого параметра система контроля должна вырабатывать сигнал, к-рый либо выключает неисправную аппаратуру и включает исправную, либо сигнализирует о необходимости проведения ремонта.

Эксплуатационная документация имеет исключительное значение для надежной работы аппаратуры. Основными видами этой документации являются технич. описание и инструкция по эксплуатации. Технич. описания должны подробно объяснять сущность физич. процессов, происходящих в схеме. Описания должны быть снабжены достаточным количеством схем и иллюстраций, поясняющих работу аппаратуры. Следует помнить, что технич. уровень обслуживающего персонала, как правило, ниже уровня разработчиков, а аппаратура массового применения может эксплуатироваться персоналом, не имеющим специального технич. образования. Роль, значение и масштабы применения электронной аппаратуры возрастают с каждым годом, поэтому всестороннее изучение вопросов надежности и борьба за ее повышение становятся важнейшей общегосударственной задачей.

Лит. см. при ст. *Надежность*. *Е. Ю. Намиот.*

НАЙКВИСТА КРИТЕРИЙ (Nyquist criterion; critère de Nyquist; Nyquist-Kriterium) — частотный критерий устойчивости линейных САР с пост. параметрами; может применяться и для систем с запаздыванием. Н. к. позволяет по годографу $KW(j\omega)=\frac{M(j\omega)}{D(j\omega)}$ амплитудной фазовой хар-ки разомкнутой системы судить об устойчивости замкнутой системы. Н. к. целесообразно применять для исследования систем, к-рые после размыкания цепи воздействий становятся более простыми по своей структуре, напр. для одноконтурных систем. Если ур-ния отдельных звеньев системы или всей системы неизвестны, то для определения устойчивости системы при помощи Н. к. можно пользоваться эксперимент. частотными хар-ками. Предполагая, что степень полинома $M(j\omega)$ меньше степени полинома $D(j\omega)$ и они не имеют общих корней с неотрицат. веществ. частью, Н. к. можно сформулировать следующим образом: САР, неустойчивая в разомкнутом состоянии и имеющая p корней с положит. веществ. частью, будет устойчива в замкнутом состоянии, если амплитудная фазовая хар-ка $KW(j\omega)$ охватывает точку $(-1, j0)$ в положит. направлении (против часовой стрелки) $\frac{p}{2}$ раз. Это означает, что угол поворота вектора r, проведенного из точки $(-1, j0)$ к хар-ке $KW(j\omega)$ при возрастании ω от 0 до ∞, должен быть равен $2\pi\frac{p}{2}$. В частном случае, если разомкнутая система устойчива, т. е. $p=0$, Н. к. наиболее прост: САР, устойчивая в разомкнутом состоянии, будет устойчива в замкнутом состоянии, если амплитудная фазовая хар-ка $KW(j\omega)$ не охватывает точки $(-1, j0)$. На рис. 1 приведен пример для $p=0$ амплитудной фазовой хар-ки устойчивой системы, на рис. 2 — неустойчивой.

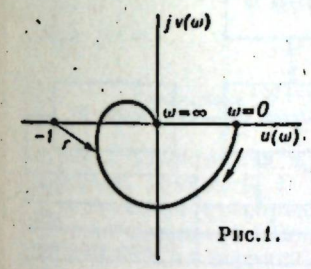


Рис. 1.

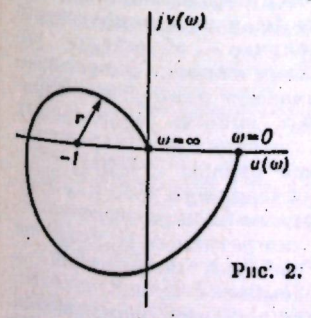


Рис. 2.

Если система астатическая, то при $\omega=0$ изменение аргумента $D(j\omega)$ становится неопределенным. Характеристическое ур-ние разомкнутой системы $D(\lambda)$ имеет корни, равные нулю. Эти нулевые корни условно относят в левую полуплоскость и при изменении ω от $-\infty$ до $+\infty$ начало координат обходят справа по дуге окружности бесконечно малого радиуса, т. е. $\lambda=\varrho e^{j\psi}$, где ϱ — радиус-вектор, $j\psi$ — полярный угол ($\varrho\to 0$, $-\frac{\pi}{2}\leqslant\psi\leqslant\frac{\pi}{2}$ при изменении ω от -0 до $+0$ или $0\leqslant\psi\leqslant\frac{\pi}{2}$ при изменении ω от 0 до $+0$). При таком доопределении $KW(j\omega)$ при $\omega=0$ дополняют дугой бесконечно большого радиуса, к-рый описывает угол $\nu\frac{\pi}{2}$ в отрицат. направлении, где ν — порядок астатизма системы, и формулировка Н.к. остается без изменений. Амплитудная фазовая хар-ка устойчивой системы ($\nu=1$; $p=0$) показана на рис. 3. На практике часто оказывается более удобной др. формулировка Н. к.: САР, неустойчивая в разомкнутом состоянии, будет устойчива в замкнутом состоянии, если разность между положит. и отрицат. переходами амплитудной фазовой хар-ки и отрезка действительной оси $(-\infty, -1)$ равна $\frac{p}{2}$. Положит. переходом наз. точка, в к-рой $KW(j\omega)$ пересекает действит. ось сверху вниз с возрастанием ω, отрицательным — снизу вверх. На рис. 4 показана амплитудная фазовая хар-ка устойчивой в замкнутом состоянии системы

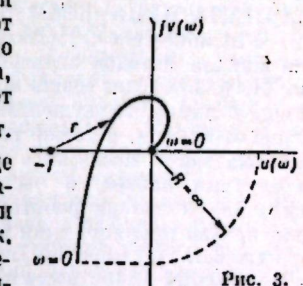


Рис. 3.

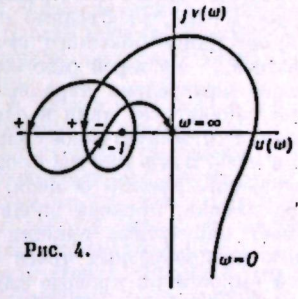


Рис. 4.

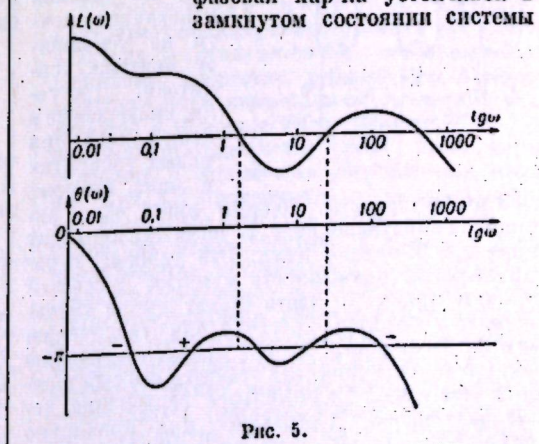


Рис. 5.

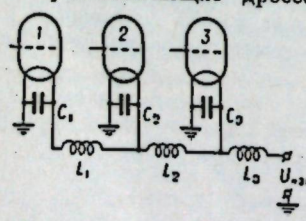
при $p=2$. Часто пользуются логарифмическими характеристиками. В этом случае Н. к. видоизменяется следующим образом: САР, неустойчивая в разомкнутом состоянии, будет устойчива в замкнутом состоянии, если

разность между числом положит. и отрицат. переходов фазовой хар-ки $\theta(\omega)$ прямой $(-\pi)$ равна $\frac{p}{2}$, учитывая только те значения ω, при к-рых логарифмическая амплитудная хар-ка $L(\omega)$ положительна. Положит. переходом в этом случае наз. точка, в которой фазовая хар-ка пересекает прямую $(-\pi)$ снизу вверх, отрицательным — сверху вниз. На рис. 5 показаны логарифмич. амплитудная хар-ка и фазовая хар-ка неустойчивой системы ($p=2$).

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория. Под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; П о п о в Е. П., Динамика систем автоматического регулирования, М., 1954. *В. С. Косиков.*

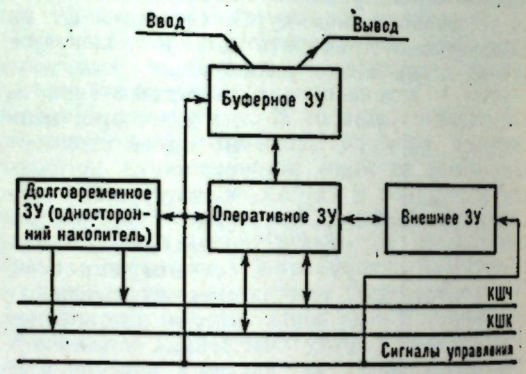
НАКАЛА ЦЕПЬ (heater power circuit; circuit d'incandescence; Heizkreis) — цепь питания накала катодов электронных ламп. Так как Н. ц. проходит вдоль всего усилителя от лампы к лампе, то неудачные схема и расположение этой цепи, а также плохое выполнение монтажа могут послужить причиной значит. паразитных связей, а часто — возбуждения усилителя и потери работоспособности всего тракта. Как правило, один из проводов Н. ц. подключают к корпусу прибора. Однако неправильный выбор места этого подключения может привести к возникновению паразитных обратных связей, напр., к появлению фона сетевой частоты в усилителе. На ВЧ, особенно при большом усилении, простого соединения с корпусом одного из проводов накала часто недостаточно, необходимо прокладывать земляную шину большого сечения. Чем выше частота, на к-рой работает усилитель, тем менее желательно параллельное присоединение накала всех ламп к одному общему проводу, т .к. индуктивное сопротивление общего для неск. ламп участка провода является связывающим элементом цепи. Кроме того, провод накала, проходя вдоль всего усилителя, имеет паразитные емкости относительно самых разнообразных точек его шасси. Через эти емкости на проводе наводятся дополнит. ВЧ потенциалы.

Для уменьшения нежелат. связей в усилителях, работающих на высоких промежуточных частотах, в провода накала включают развязывающие дроссели (рисунок), что при их удачной конструкции почти не усложняет монтажа усилителя. Дроссели, включаемые в цепи накала, при малых габаритах и макс. возможной индуктивности, должны иметь малое активное сопротивление, т. к. через них проходит значит. ток накала ламп. Это условие, ограничивающее возможность намотки дросселей тонким проводом, часто ставит предел уменьшению габаритов дросселя или увеличению его индуктивности. Второй предел увеличению индуктивности дросселя ставится его собственной емкостью. Значительное ослабление нежелат. связей, достигаемое при правильно спроектированной схеме цепи накала, может быть в большой мере аннулировано при наличии непосредственной паразитной связи между проводами накала.



Лит.: В о л и н М. Л., Усилители промежуточной частоты, 3 изд., М., 1956; Ламповые усилители, пер. с англ., [ч.] 1, М., 1950. *И. А. Стрельцов.*

НАКОПИТЕЛЬ (storage; circuit d'enregistrement; Speicher) — запоминающее устройство для выполнения определ. ф-ций в процессе запоминания информации в ЦВМ. Запоминание информации является многоступенчатым процессом, к-рый может происходить одновременно в неск. частях ЦВМ, и один и тот же массив информации последовательно во времени подвергается неоднократному хранению. Создание единого ЗУ с разнообразными ф-циями — задача технически невыполнимая. Поэтому в составе ЦВМ всегда имеется неск. ЗУ (накопителей) с огранич. числом ф-ций для каждого. Они работают синхронно или асинхронно между собой и с остальными частями ЦВМ. При этом отдельные Н. могут действовать одновременно. Наличие нескольких Н. решает проблемы скорости, емкости и надежности ЦВМ. Каждый из Н. строится с учетом специфики поступающей на него информации: промежуточные результаты вычислений, информация ввода—вывода, информация от управляющих объектов и т. п. Для оперативных Н.(см. *Запоминающее устройство оперативное*) характерны двусторонние



Блок-схема накопителей (запоминающих устройств) ЦВМ.

связи с АУ и другими Н. (рис.), произвольное обращение по адресам и способность к асинхр. управлению. Оперативные Н. в нек-рых случаях проектируются по схеме *многоступенчатой системы памяти*. Внешние Н. (см. *Запоминающее устройство внешнее*) хранят большие объемы информации и служат резервом для оперативных Н. или хранилищем для различного рода справочного материала. Они непосредственно связаны с оперативными Н. и, как правило, не принимают прямого участия в выполнении вычислит. операций. Буферный Н. (см. *Запоминающее устройство буферное*) является согласующим блоком между оперативными Н. и внешними устройствами (в частном случае — объектами управления или каналами связи). Односторонние Н. (см. *Запоминающее устройство долговременное*) дополняют емкость оперативных Н. хранением пост. информации; характеризуются односторонней связью с ЦВМ.

Функциональные обязанности того или иного Н. придают отдельным блокам определяющий характер. Так, оперативным Н. присуща разветвл. система выборки информации, у внешних Н. система выборки проще, но требуется решить задачу механич. перемещения носителя информации. Односторонние Н. упрощены в схемах считывания. Состав Н. в ЦВМ определяется ее назначением. *А. В. Гусев.*

НАКОПИТЕЛЬ ОДНОСТОРОННИЙ [one-sided storage (memory); circuit d'enregistrement unilatérale; einseitiger Speicher] — устройство ЦВМ для длительного хранения записанной в нем информации, не изменяющейся в процессе вычислений, с целью многократного считывания отдельных ее частей. См. *Запоминающее устройство долговременное.*

НАКОПЛЕНИЕ ВОЗМУЩЕНИЙ (disturbance storage; accumulation de pérturbations; Schwankungsspeicherung, Abweichungsspeicherung), н а к о п л е н и е о т к л о н е н и й, — метод оценки макс. отклонения регулируемой величины $x(t)$ в случае, когда относительно внешних возмущений $f(t)$ известны лишь пределы их изменения. Макс. отклонение при самом неблагоприятном законе изменения $f(t)$, ограниченных по модулю, наз. накопленным отклонением $x_{макс,макс}(t)$.

Макс. отклонение достигается в том случае, если абс. значение ф-ции $f(t)$ сохраняет свое макс. значение l, а ее знак меняется на обратный в моменты изменения знака импульсной переходной ф-ции $k(t)$. Для линейных систем с пост. параметрами при нулевых нач. условиях $x_{макс,макс}(t)$ определяется ур-нием:

$$x_{макс,\,макс}(t)=l\int_0^t|k(\tau)|\,d\tau.$$

При $t=\infty$

$$x_{макс,\,макс}(\infty)=l\int_0^\infty|k(\tau)|\,d\tau.$$

Кривая зависимости $x_{макс,макс}$ от времени носит назв. кривой Б. В. Булгакова. Эта кривая и ее зеркальное отображение относительно оси абсцисс являются мажорантами для всех $x(t)$ при действии ограниченных по модулю $f(t)$. Величину $x_{макс,макс}(t)$ можно выразить через коэфф. накопления отклонений в системе $x_{макс,макс}(t)=lh_{макс,макс}(t)$.

Значение $h_{макс,макс}(t)$ есть накопленное отклонение, когда модуль воздействия равен 1 и при $t=\infty$ равно удвоенной сумме экстремумов переходного процесса, соответствующего возмущению в виде единичного скачка.

Для линейной системы с перем. параметрами кривую Булгакова можно построить по ур-нию

$$x_{макс,\,макс}(t)=l\int_0^t|k(t^*,\tau)|\,d\tau.$$

Однако эта кривая представляет накопленное отклонение не в любой момент времени t, а лишь в момент $t=t^*$, для к-рого построена импульсная переходная ф-ция $k(t^*,\tau)$.

Лит.: Б у л г а к о в Б. В., О накоплении возмущений в линейных колебательных системах с постоянными параметрами, «ДАН СССР», 1946, т. 51, № 5; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Б у л г а к о в Б. В., К у з о в к о в Н. Т., О накоплении возмущений в линейных системах с переменными параметрами, «ПМ и М», 1950, т. 14, в. 1; К у з о в к о в Н. Т., Теория автоматического регулирования, основанная на частотных методах, 2 изд., М., 1960. *В. Ю. Рутковский.*

НАЛАДКА э л е к т р о н н ы х ц и ф р о в ы х м а ш и н (electronic digital computer debugging; ajustage de calculateurs électroniques numériques; Inbetriebnahme electronischer Ziffernmaschinen) — система мероприятий, проводимых на машине для ввода ее в режим норм. работы. Различают Н. первичную, профилактич. и аварийную.

1. Первичная Н. производится после изготовления каждого образца и делится на следующие этапы:

П р е д в а р и т. о с м о т р и п о д а ч а п и т а н и я. Проверяется правильность межпанельного монтажа, прокладки магистр. коммуникаций и разводки цепей питания (визуальным просмотром и приборной прозвонкой всех цепей машины до подачи питающего напряжения). Устанавливается соответствие электрич. соединений монтажной карте машины. Осн. внимание уделяется проверке правильности монтажа и функционирования системы защиты питания машины. Спец. приборами (напр., мегомметром) измеряются величины сопротивлений изолирующих элементов. Проверяется механич. крепеж и исправность переключателей. На данном этапе Н. производится полная проверка вентиляц. и холодильной систем машины.

Питающие напряжения подаются на машину по частям: сначала на входные шины (проверяется работа внешней защиты и сигнализации отклонений энергетич. режимов питания от норм. значений), а затем непосредственно на устройства машины. В тех случаях, когда на машине имеется отдельная стойка питания, напряжение предварительно подключается на эту стойку. После подачи питания на машину устанавливаются требуемые режимы работы блоков питания и измеряются значения напряжений в узловых точках всех устройств машины.

С т е н д о в а я (в ы н о с н а я) н а л а д к а (СН) предусматривает проверку и регулировку работы всех съемных стандартных блоков машины. Осуществляется вне машины на спец. стендах. Схемами испытат. стендов имитируют условия работы блока на машине. Выходные сигналы отражаются на контрольно-индикац. панели стенда. Форму выходных сигналов и их временные соотношения просматривают на осциллографах. Конструкция стендов допускает, как правило, свободный доступ ко всем элементам блока в процессе его отладки. СН ведется параллельно с предварит. осмотром машины.

А в т о н о м н а я н а л а д к а (АН) предусматривает наладку всех устройств машины без электрич. и логич. их связи с остальными устройствами. Энергетич. режимы при АН соответствуют норм. значениям. Логический режим задается с помощью спец. пультов АН. Ими же имитируются логич. связи проверяемых устройств с остальными устройствами машины. При АН проверяются с помощью осциллографов и др. приборов форма всех осн. сигналов, их взаимодействие в процессе функционирования устройства и устанавливается *временная диаграмма* его работы. Осн. логич. этапы прохождения информации в устройстве отражаются на пульте АН сигнальными элементами. Во время наладки приводится в соответствие с технич. документацией глубина всех профилактич. режимов, предусмотр. для данного устройства. При каждом профилактич. режиме осуществляется полный цикл АН.

К о м п л е к с н а я н а л а д к а (КН) вычислит. машины в целом проводится при полном рабочем взаимодействии всех ее устройств. Осуществляется, как правило, с помощью *испытательных программ системы*

после приборной установки временно́й диаграммы работы всей машины и проверки правильности прохождения ее сигналов между отдельными устройствами. Настройка устройств, блоков и узлов машины при функционировании испытат. программ ведется во всех предусмотренных для данной программы профилактич. режимах. КН заканчивается решением комплексных контрольных и ряда наиболее трудных рабочих задач, допускающих программную проверку правильности решения. После окончания КН машина сдается в нормальную эксплуатацию.

2. Профилактич. наладка (ПН) ЭЦМ выполняется периодически в процессе эксплуатации машины и предусматривает выявление и замену элементов и режимов машины, параметры к-рых близки к предельно допустимым значениям. Период ПН определяется назначением машины, ее конструктивными и логич. особенностями, а также требованиями к надежности ее работы. Бывает ежедневная, недельная, месячная, квартальная и годовая. Глубина ПН увеличивается с удлинением ее периода. Для каждой машины устанавливаются своя периодичность и режим ПН. Критичные элементы машины выявляются путем создания для машины утяжел. условий работы (изменение питающих напряжений, частоты синхронизирующих сигналов и температурного режима, механич. простукивание и встряхивание узлов и блоков машины и т. д.). При квартальной или годовой ПН производится, кроме того, полная чистка машины, проверяется механич. крепеж, пайка и контактные соединения, проверяются и заменяются лампы с граничными параметрами, промываются контакты съемных элементов. Некоторые машины предусматривают выносную или стендовую ПН, состоящую в систематич. наладке всех резервных съемных блоков машины на отладочных стендах и установке их на машину взамен работающей партии, поступающей в свою очередь на наладочные стенды. Подобная система позволяет в течение определ. периода отлаживать все съемные блоки машины без существ. потери машинного времени (см. *Контроль профилактический*).

3. Аварийная наладка осуществляется после выхода машины из строя в процессе эксплуатации. Причинами аварии могут быть: электрич. пробой изолирующих элементов, потеря лампой эмиссионной способности, перегорание сопротивления, значит. уход питающего напряжения от норм. значения и т. д. Во время аварийной Н. с помощью спец. приборов и испытат. программ выявляется место неисправности и устраняется ее причина. После этого производится тщательная проверка ЭЦМ по испытат. программам в профилактич. режимах.

И. А. Данильченко.

НАПРЯЖЕНИЕ ПРОКОЛА (piercing voltage; tension de perçage; Durchbruchspannung) — параметр *транзисторов микросплавных*, т. е. напряжение, при к-ром смыкаются границы двух областей пространственного заряда (коллекторного и эмиттерного).

При повышении напряжения U, приложенного между коллектором и базой или между коллектором и эмиттером транзистора, область пространств. заряда в коллекторном p—n-переходе расширяется пропорционально $\sqrt{U}$. В микросплавных транзисторах, уд. сопротивление базовой области к-рых значительно превышает уд. сопротивление коллекторной области, расширение области пространств. заряда происходит в базу. Распределение примеси по обе стороны перехода равномерно, поэтому распределение поля в p—n-переходах триода может быть представлено, как это показано на рис. 1. При нек-ром значении напряжения, к-рое и получило название Н. п., область пространств. заряда коллекторного p—n-перехода смыкается с областью пространств. заряда эмиттерного перехода (рис. 2). При этом наступает как бы кз между коллектором и эмиттером. Величина Н. п. зависит от ширины базового слоя и его уд. сопротивления и может быть рассчитана по ф-ле: $U_{\text{прокол}} = \frac{w^2 qN}{2\varepsilon}$, где w — ширина базы; q — заряд электрона; N — концентрация примесей в базе; ε — диэлектрич. проницаемость.

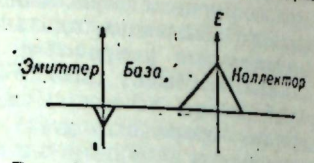


Рис. 1. Распределение поля в переходах при нормальной работе транзистора: E — напряженность электрич. поля.

Прокол в приборах наблюдается только тогда, когда Н. п. меньше пробивного напряжения перехода коллектор — база. Для таких приборов Н. п. ограничивает макс. напряжение, которое может быть приложено между коллектором и эмиттером или между коллектором и базой триода. Ток при проколе не зависит от напряжения базы.

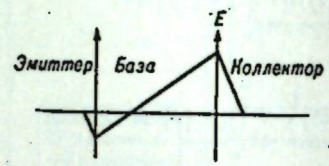


Рис. 2. Распределение поля при проколе.

У тянутых и диффузионных триодов расширение области пространств. заряда при повышении коллекторного напряжения происходит в области коллектора, т. к. она обладает более высоким сопротивлением, чем базовая область. Поэтому явления прокола в таких триодах не наблюдается.

С. Г. Мадоян.

НАРАСТАНИЯ ВРЕМЯ (rise time; durée d'établissement; Anstiegszeit) — время, в течение к-рого выходная величина динамич. системы в экспоненциальном процессе возрастает в e раз — до 63% от своего установившегося значения при ступенчатом входном воздействии (рис. 1; $t_н$ — время нарастания).

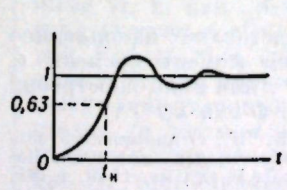


Рис. 1.

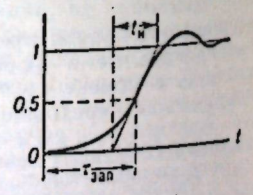


Рис. 2.

При этом для апериодич. звена Н. в. совпадает с постоянной времени звена. Н. в. является одной из оценок быстродействия САР. В фильтрах за Н. в., или время установления, принимается время, в течение к-рого выходная величина при ступенчатом входном воздействии возросла бы от нуля до установившегося значения, если бы скорость ее роста была постоянна и максимальна (рис. 2; $\tau_{зап}$ — время заназдывания).

Лит.: Бьернсон Дж., Определение переходных процессов по частотным характеристикам разомкнутой системы, в сб.: Частотные методы в автоматике, под ред. В. А. Карабанова, М., 1957; Теория следящих систем, под ред. Х. Джеймса [и др.], пер. с англ., 2 изд., М., 1953.

Б. И. Андрейчиков.

НАСОС (pump; pompe; Pumpe) — гидравлич. машина для перемещения жидкости путем повышения энергии в ней. Существует неск. принципов действия Н. В гидравлич. передачах, гидравлич. системах машин, а также для автоматизации производств. процессов и автоматич. управления наибольшее распространение получили объемные Н. В этих Н. энергия преобразуется в процессе вытеснения жидкости из рабочих камер при практически герметичном разделении полостей нагнетания и всасывания. Основные параметры Н.: номинальное (рабочее) давление p; расход Q при номинальном давлении; число оборотов n приводного вала в минуту; рабочий объем q (в $см^3/об$), объемный η_0 и общий η кпд. Объемный кпд Н. характеризует утечки жидкости из полостей, перетечки из полости высокого давления в полость низкого давления, уменьшение расхода Н. от неполного заполнения его рабочих камер, а также потери от упругости жидкости и наличия вредного пространства. Объемные потери приводят к тому, что действительный расход меньше геометрического. Объемный кпд уменьшается с увеличением давления и увеличивается с увеличением расхода. На объемный кпд влияет вязкость жидкости и ее темп-ра. При износе Н. и увеличении уплотняющих зазоров в нем объемный кпд уменьшается. Требуемая приводная мощность Н. N *квт* определяется выражением: $N = pQ/612\,\eta$, где p в *кг/см²*, а Q в *л/мин*. Расход Н. рассчитывается по ф-ле $Q = qn\eta_0$.

В гидропередачах и системах управления нашли применение все типы объемных Н. — поршневые (клапанные), роторные и с неподвижным блоком. Поршневые Н. применяются гл. обр. в прессах и могут работать при давлении св. 400 *кг/см²*. В технике регулирования широко используются роторные Н. Они производятся на давления от 20 до 350 *кг/см²*; в промышленности давление обычно не выше 160 *кг/см²*. Диапазон мощностей Н. — от сотен *вт* до неск. тыс. *квт*. В технике регулирования, дистанц. и автоматич. управлении применяются Н. как постоянной, так и переменной (регулируемой) производительности: более простые Н. пост. производительности — в системах исполнит. механизмов дроссельного и струйного управления для небольших мощностей (до 10 *квт*), т. к. этот вид управления сопряжен с большими потерями. Н. переменной производительности — во всем диапазоне мощностей и с различными органами управления. Нек-рые *гидромоторы* могут использоваться и как Н.

Лит.: Башта Т. М., Расчеты и конструкции самолетных гидравлических устройств, 3 изд., М., 1961; Леонов А. Е., Насосы гидравлических систем станков и машин, М.—К., 1960; Мальц Л. У., Поршневые гидравлические передачи с регулируемыми насосами, Л., 1961; Информационные материалы по гидрооборудованию станков. Насосы, 2 изд., М., 1958.

А. И. Мазырин.

НАСТРОЙКА (tuning; réglage d'accord; Abstimmung) регулятора — изменение параметров автоматич. регулятора с целью улучшения показателей процесса регулирования. Н. выполняется в соответствии с параметрами объекта регулирования. Обычно Н. регулятора производится при типовых возмущениях, характерных для данного объекта регулирования. Оптимальную Н. регулятора выбирают по значению одного из показателей качества процесса регулирования, напр. по установившейся погрешности, по времени регулирования, по перерегулированию и др. Для типовых объектов регулирования и наиболее общих показателей качества процесса регулирования составлены и построены хар-ки оптим. Н., по которым можно определить необходимые параметры Н. регулятора.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Лернер А. Я., Введение в теорию автоматического регулирования, М., 1958; Справочные материалы по расчету типовых систем автоматического регулирования технических процессов, М., 1959 (Ин-т автоматики и телемеханики, в. 3).

С. И. Димченский.

НАСТРОЙКИ ХАРАКТЕРИСТИКА (adjusting characteristics; caractéristique de réglage; Einstellungskennwert) — график зависимости между параметрами настройки регулятора и параметрами объекта регулирования, соответствующий данному критерию качества регулирования. Вид Н. х. зависит от динамич. хар-к регулятора и объекта регулирования. Н. х. пользуются в случаях, когда эти зависимости трудно выразить в аналитич. форме.

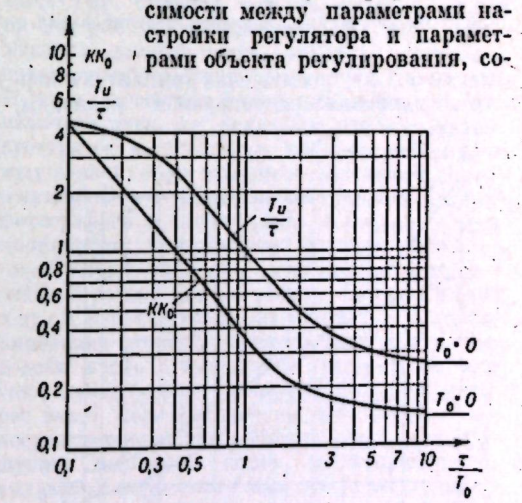


Рис. 1. Зависимости $\frac{T_u}{\tau} = f\left(\frac{\tau}{T_0}\right)$ и $KK_0 = \varphi\left(\frac{\tau}{T_0}\right)$ для изодромного регулятора и объекта с самовыравниванием для процесса без перерегулирования.

На рис. 1—3 приводятся Н. х. для изодромного регулятора и объекта 1-го порядка с запаздыванием и самовыравниванием для трех критериев качества регулирования. Параметры регулятора — коэфф. усиления K и время изодрома T_u, параметры объекта регулирования — коэфф. усиления K_0, постоянная времени T_0 и время заназдывания τ. Параметрами настройки для этих Н. х. выбраны KK_0 и T_u/τ. Н. х. на рис. 1 соответствует процессу без перерегулирования, на рис. 2 — с миним. временем регулирования, а на рис. 3 — с миним. квадратичной ошибкой. Используя Н.х. (для выбранного критерия процесса) по известным значениям K_0, T_0 и τ можно определить значения K и T_u.

Иногда Н.х. соответствует зависимости между показателями качества регулирования и

параметрами объекта регулирования. Первыми могут быть величины, характеризующие процесс регулирования при возник-



Рис. 2. Зависимости $\frac{T_u}{\tau} = f\left(\frac{\tau}{T_0}\right)$ и $KK_0 = \varphi\left(\frac{\tau}{T_0}\right)$ для процесса с миним. временем регулирования.

новении в САР возмущения (амплитуда первого отклонения регулируемой величины,

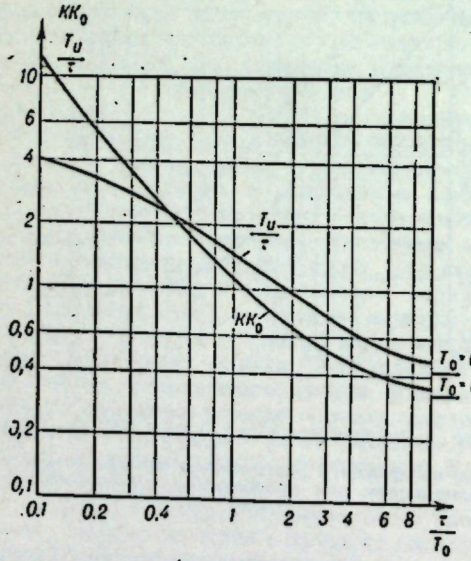


Рис. 3. Зависимости $\frac{T_u}{\tau} = f\left(\frac{\tau}{T_0}\right)$ и $KK_0 = \varphi\left(\frac{\tau}{T_0}\right)$ для процесса с миним. квадратичной ошибкой.

амплитуда второго отклонения, время первого полуколебания и т. д.).

Лит.: Основы автоматического регулирования, под ред. В. В. Солодовникова, т. 2, М., 1959, гл. 8; Круг Е. К. и Минина О. М., Электрические регуляторы промышленной автоматики, М.—Л., 1962.

С. И. Дымченский.

НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЕ УЧРЕЖДЕНИЯ (research institutions; institutions de recherche scientifique; wissenschaftliche Forschungsbehörden) и проектно-конструкторские организации. Работы по автоматизации производства ведутся в организациях союзной и республиканских академий наук, отраслевых исследоват. и учебных ин-тах, высших учебных заведениях, организациях государственных комитетов по отраслям техники, министерств и ведомств. Высшим научным органом по кибернетике в стране является Научный совет при Академии наук СССР по комплексной проблеме «кибернетика». В его составе имеются математич., технич., экономич., философская, правовая, психологич., лингвистич. секции, секция по кибернетике живой природы и др., с рядом комиссий по каждому из направлений. В республиканских академиях функционируют институты кибернетики.

Теоретич. исследования в области автоматич. управления ведутся также в Институте автоматики и телемеханики в Москве, Институте машиноведения и автоматики АН УССР, Ин-те автоматики Госплана УССР, Ин-те электроники, автоматики и телемеханики АН Грузинской ССР, Московском высшем техническом училище, Московском энергетическом ин-те, Ленинградском политехническом ин-те и ряде др. высших учебных заведений.

На основе теоретич. работ в ин-тах комплексной автоматизации (Государственный всесоюзный н.-и. ин-т комплексной автоматизации, Всесоюзный н.-и. и проектно-конструкторский ин-т комплексной автоматизации нефтяной и газовой промышленности; Государственный н.-и. ин-т автоматизации производственных процессов химич. пром-сти и цветной металлургии, Проектно-конструкторский ин-т комплексной автоматизации пищевой пром-сти, Ин-т автоматики и электрометрии Сибирского отделения АН СССР) разрабатываются конкретные системы управления произ-вом в различных отраслях нар. х-ва. По математич. описаниям технологич. процессов составляются алгоритмы управления. Составляются генеральные схемы централизованного автоматизированного управления пром. пр-тиями.

На основе генеральной схемы комплексной автоматизации пр-тия разрабатываются системы автоматизации всех входящих в его состав цехов, участков и агрегатов. Составляются технич. задания на конструирование новой аппаратуры и проектирование объектов. Осуществляется авторский надзор за созданием аппаратуры, проектированием, монтажом, наладкой и пуском всех систем автоматизации комплекса на пр-тии. Ведется наблюдение за опытной эксплуатацией и инструктаж персонала. Исследуется надежность и вырабатываются типовые методы, структурные схемы и системы комплексной автоматизации, а также телемеханизации диспетчерских и информационных служб для различных произ-в и выпускаются инструкции на проектирование, монтаж, испытания и эксплуатацию. Составляются рациональные номенклатуры приборов и средств автоматизации. Проводятся экономич. исследования эффективности автоматизации и выдаются методики ее определения, выпускаются рекомендации по комплексной автоматизации произ-ва типовыми унифицированными средствами.

Математич. описания производственных процессов, необходимые для составления алгоритмов автоматич. управления, составляются в технологич. ин-тах путем моделирования процессов и исследования динамики работы оборудования. Задача этих ин-тов — изыскание новых видов прогрессивной технологии, обеспечивающих непрерывность и экономичность производственного потока при высоком качестве продукции. Наилучшими решениями оказываются те, у к-рых автоматизм заложен в основу физико-химич. превращений перерабатываемых веществ, теплоэнергетич. и механич. воздействий на материалы при изготовлении изделий. Такие технологич. процессы при хорошо спроектированном оборудовании идут устойчиво и для управления требуют минимума аппаратуры.

На основе технич. условий, составленных технологич. ин-тами, конструкторские организации создают оборудование, к-рое так же, как и процесс, должно быть в принципе максимально автоматичным. Это достигается широким использованием гидравлики, пневматики и электроники как в энергетике оборудования, так и в цепях управления. Рабочие машины, аппараты и агрегаты оснащаются типовыми средствами автоматизации. В полной мере все это имеет место в автоматич. линиях.

Средства автоматизации в виде датчиков и вторичных контрольно-измерит. и регулирующих приборов, различных анализаторов, машин централизованного контроля, диспетчерских и управляющих машин разрабатываются организациями приборостроения, специализированными по физич. признакам контролируемых величин, напр. приборы теплового контроля (Гос. н.-и. ин-т теплоэнергетич. приборостроения), приборы для измерения масс (Н.-и. и конструкторский ин-т испытат. машин, приборов и средств измерения масс), электроизмерит. приборы (Всесоюзный н.-и. ин-т электроизмерит. приборов), и по предметно-конструктивному признаку, напр. счетные машины (Гос. союзное конструкторско-технологич. бюро по проектированию счетных машин), спец. ЭВМ, управляющие машины (Ин-т электронных управляющих машин, Н.-и. ин-т управляющих вычислит. машин и систем, Тбилисский н.-и. ин-т приборостроения и средств автоматизации).

Электровакуумные, ионные и полупроводниковые приборы, а также усилит. и преобразоват. устройства общего назначения и универсальные ЭВМ разрабатываются организациями электронной техники. Аппараты электронной технологии и ионной энергетики создаются в организациях электропром-сти.

Новые конструкции средств автоматизации, приборов, аппаратов, автоматизированного оборудования и автоматич. линий в виде макетов и опытных образцов изготовляются и испытываются на эксперимент. базах конструкторских организаций или на опытно-показат. пр-тиях пром-сти.

Внедрение комплексной механизации и автоматизации произ-ва в нар. х-во обеспечивается деятельностью государственных комитетов по отраслям промышленности, а также Государственного комитета Совета Министров СССР по координации научных исследовательских работ, направленной на макс. ускорение технич. прогресса, совершенствование технологии производства, специализацию предприятий, осуществление единой технич. политики в стране.

В. Э. Низе.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ ОБРАБОТКА (scientific and engineering data processing; traitement de l'information scientifique et technique; Bearbeitung wissenschaftlich-technischer Information) — совокупность процессов, осуществляемых для максимально эффективного использования записей научно-технич. сведений (распространение, накопление, хранение, поиск информации и т. п.). Традиц. методы Н.-т. и.о. включают редакционно-издательские и полиграфич. (репродукционные) процессы, перевод текстов с одного языка на др., составление библиографич. описаний, аннотаций, рефератов и обзоров, накопление записей информации в хранилищах, составление картотек, каталогов и указателей (авторских и предметных), используемых для поиска нужных записей информации, а также извлечение из хранилищ требуемых записей, их возвращение в хранилища и т. п. Процессы Н.-т. и. о. целесообразно классифицировать по двум аспектам — материально-знаковому и смысловому. С одной стороны, эти записи суть материальные предметы (рукописи, печатные издания, катушки микрофильма, перфоленты или иные виды заполнений машинной памяти), отличит. особенностью к-рых служат множества знаков (напр., рус. или лат. букв), входящих в их состав. С др. стороны, они являются текстами на нек-ром языке, имеющем для лиц, понимающих данный язык, определ. смысловое содержание. Первая категория процессов Н.-т. и. о. состоит в создании новых записей, отличающихся от исходных только физич. субстратом и, возможно, набором используемых знаков, но не языком и смысловым содержанием. Это — размножение записей микрофотографией и полиграфич. методами. Среди полиграфич. методов все большее значение приобретают наиболее оперативные методы — электрография (ксерография), термография и др. К этой категории относятся также перфорирование записей обычного типа для непосредств. ввода в машины и процессы автоматич. чтения текста. Большой практич. интерес имеет перепечатывание рукописей — непосредственно перед набором — на спец. пишущих машинках (типа флексорайтеров), выдающих перфоленту как побочный продукт перепечатки. Существ. шагом к полной автоматизации ввода печатной (а в дальнейшем также рукописной) информации в машины явятся разрабатываемые автоматич. читающие устройства. Они способны распознавать цифры и буквы и выдавать соответствующие им электрич. сигналы, используемые также для управления печатающим или наборным устройством, и осуществлять т. о. автоматич. набор непосредственно с рукописи.

Обратны процессы преобразования машинных форм записи (перфокарты, перфоленты, записи на магнитных лентах) в обычную печатную форму с помощью табуляторов, флексорайтеров, спец. вида наборных машин и выходных печатающих устройств ЭВМ. Также к первой категории процессов Н.-т. и. о. относятся процессы упорядочения записей в том или ином лексикографич. (алфавитном) порядке. Для этих процессов, необходимых при составлении различного рода указателей, чаще всего используются электромеханич. сортировальные устройства из комплекта счетно-аналитич. машин.

Примерами процессов второй категории являются реферирование, составление обзоров или переводы с языка на язык, т. е. переработка записей с изменением их смыслового содержания или (и) их языка. Методы автоматизации таких процессов имеют, кроме практического, также и большое принципиальное значение, ибо речь идет о методах моделирова-

ния отдельных участков мыслит. деятельности человека. Гл. трудность — в создании соответствующих *алгоритмов* переработки информации. Любой построенный для этого случая алгоритм может быть осуществлен устройством типа универсальной ЦВМ с программным управлением и достаточным объемом оперативной памяти. Эффективная реализация того или иного процесса автоматич. Н.-т. и. о. требует создания машин, специализированных для этих целей; такие машины часто наз. информационно-логическими (ИЛМ) (см. *Информационная машина*).

Из числа процессов второй категории наибольшее внимание уделялось проблемам *машинного перевода*, развившимся в большую самостоят. область исследований, и задачам механизации и автоматизации информац. поисков. В задачах последнего типа необходимо из множества информации отбирать записи, отвечающие информац. запросу (вопросу). Прямое построение алгоритмов установления смыслового соответствия применительно к текстам и вопросам на естеств. языках представляется чрезвычайно затруднительным, поэтому задачу расчленяют на этапы. Сначала строят для данной области науки или техники некоторый искусств. язык (информационно-поисковый язык — ИПЯ), обычно намного более бедный, чем естеств. язык, но отличающийся простотой и регулярностью структуры. В совр. информационно-поисковых системах (ИПС) содержание исходных записей информации передается при помощи ИПЯ, используемого также для формулировки вопросов. Далее, применительно к ИПЯ строится алгоритм установления смыслового соответствия, осуществляемый либо человеком, либо механич. или автоматич. устройствами. В последних случаях записи на ИПЯ реализуются на бумажных картах, микрофильмовых или магнитных лентах и др. при помощи той или иной системы кодирования. В большинстве механич. и автоматич. ИПС для кодирования выражений ИПЯ используются лишь два состояния носителя (т. н. система двоичного кодирования), что равносильно записи информации двубукв. алфавитом, состоящим, напр., из 1 и 0. В ручных (в частности, библиоточных) ИПС чаще всего используют ИПЯ классификац. типа — набор смысловых единиц (понятий), называемых рубриками или терминами классификации, между к-рыми устанавливаются иерархич. отношения, образующие единое классификац. дерево. Содержание элементов информации (отдельных статей, книг или др. документов) передается одной или неск. классификац. рубриками, а содержание вопроса — одной такой рубрикой. Алгоритм установления смыслового соответствия дает положит. ответ, если термин вопроса совпадает или иерархически подчинен одному из классификац. терминов, характеризующих элемент информации. ИПЯ, используемые в автоматич. ИПС, представляют собой ограниченные наборы смысловых единиц — дескрипторов, к-рые ставят в соответствие либо определ. конкретным словам (или словосочетаниям) естеств. языков (такие разновидности дескрипторов наз. «ключевыми словами», или «унитермами») либо же классу равнозначных или достаточно близких по смыслу слов. При этом в простейших случаях между дескрипторами не устанавливаются никакие отношения иерархич. типа (дескрипторные языки без грамматики). Переводы текстов и вопросов на такой ИПЯ представляют собой наборы дескрипторов. Критерием смыслового соответствия считается наличие всех без исключения дескрипторов вопроса среди дескрипторов из набора, описывающего содержание текста. Такого (или лишь немного более сложного) типа ИПЯ и алгоритмы используются в ИПС, реализов. в виде массивов перфокарт с краевой или внутр. перфорацией, сортируемых соответственно вручную спицами или электромеханич. сортировальными устройствами.

Вполне сходны языковые средства, лежащие в основе большинства совр. автоматич. ИПС, к-рые существенно различаются по быстродействию и размерам массивов информации вследствие применения в них различных технич. средств, в частности фильмокарт и кинолент, просматриваемых фотоэлектрич. устройствами (системы типа миникард, фильморекс, рапид-селектор, филин и др.), и магнакарт (карты, покрытые ферромагнитным слоем), обрабатываемых при помощи ЦВМ. Дескрипторные языки без грамматики используются также в ИПС, реализованных в виде хорошо зарекомендовавших себя для ср. массивов информации суперпозиц. карт (или оптических, просматриваемых на просвет карт, или карт типа peek-a-boo). Такие системы отличаются от всех ранее упомянутых, в к-рых на каждом участке носителя (карте) кодируется набор дескрипторов, присущих определ. одному элементу информации, тем, что каждая суперпозиц. карта ставится в соответствие определ. дескриптору (а не элементу информации). На ней кодируются порядковые номера элементов информации, перевод к-рых на ИПЯ содержит данный дескриптор. Практически во всех используемых ныне ИПС процессы перевода текстов и вопросов с естеств. языков на ИПЯ (процессы индексирования) не алгоритмизованы и выполняются специалистами интуитивно. Автоматизация процессов перевода на ИПЯ возможна на основе методов, создаваемых в области машинного перевода и, в первую очередь, на основе т. н. тезаурусного метода, связанного с составлением списков равнозначных или близких по смыслу слов и словосочетаний естеств. языков, выражающих определ. смысловую единицу ИПЯ (определ. дескриптор).

Кроме описанных методов Н.-т. и. о., применяющихся на практике, разрабатываются многочисл. перспективные методы, к-рые, однако, еще далеки от практич. реализации. К этой области относятся, в частности, эксперименты по автоматич. индексированию текстов при помощи ЦВМ на статистич. основе: подсчитываются наиболее часто встречающиеся в данном тексте существительные и выписываются (в качестве ключевых словосочетаний) вместе с непосредственно сопровождающими их определяющими словами. Распознавание существительных и относящихся к ним определяющих слов производилось по формальным признакам с использованием особенностей естеств. (англ.) языка.

К этим экспериментам близки опыты по автоматич. реферированию, имеющие целью выбор из текста (напр., из журн. статей) небольшого числа наиболее «значимых» фраз. Сначала ЦВМ подсчитывает частоту встречаемости всех слов, затем исключается из рассмотрения определ. часть наиболее часто встречающихся слов (предлоги и др. служебные слова). Определ. процент оставшихся слов с наиболее высокой частотой встречаемости в дальнейшем считаются значущими словами, отражающими наиболее существ. черты смыслового содержания текста. Впоследствии подсчитывается смысловой «вес» фраз по простой ф-ле, в к-рой макс. вес приписывается фразам, включающим наибольшее число значащих слов, максимально близко располож. друг к другу в тексте фразы. Реферат составляется из числа фраз, имеющих вес, превышающий определ. пороговое значение. Они располагаются, напр., в порядке убывания смыслового веса.

Описанным методам обработки текстов родствен в известной мере метод автоматич. составления предметных указателей заглавий статей (указателей «ключевых слов в контексте» — key words in context, сокращенно KWIC). Для составления KWIC заранее подбирают фиксиров. список малозначащих слов, включающий неск. сот служебных слов (в частности, предлогов) и ряд слов, слишком часто встречающихся и, следовательно, также малоинформативных (напр., для химии слова «получение», «реакция», «изучение» и т. п.). Все слова, входящие в состав заглавий (за исключением таких малозначащих слов), считаются значащими. Указатель является списком заглавий, располож. в алфавитно-лексикографич. порядке значащих слов, входящих в их состав; при этом каждое заглавие фигурирует в списке столько раз, сколько в нем встречаются значащие слова. На стр. 368 дан отрывок из такого указателя, периодически выпускаемого с помощью ЦВМ амер. реферативной службой «Chemical Abstracts» под назв. «Chemical Titles» («Заголовки химических статей»). В указатель включаются заглавия статей, публикуемых в 500 важнейших химич. журналах; при этом его удается выпускать через две недели после выхода в свет самих журналов.

Дальнейшее развитие автоматич. ИПС зависит, в первую очередь, от усовершенствования дескрипторных ИПЯ постепенным введением элементов «грамматики» в их строй. Примером может служить применение в ИПЯ ряда работающих ИПС, т. н. «связок» (links) и «определителей роли» (roles). Применение связок равносильно расчленению содержания индексируемого текста (статьи) на две или неск. относительно самостоят. в смысловом отношении разделов, каждый из к-рых описывается отдельным набором дескрипторов. Определители роли — нек-рые простейшие одноместные предикаты, присоединяются к дескрипторам для уточнения их смысла в данном контексте; напр., к дескрипторам типа «давление», «температура», «выход реакции» можно присоединить такие определители роли, как: «быть независимой переменной, влияние к-рой на др. параметры изучается» или «быть зависимой переменной, для к-рой изучается зависимость от др. параметров». К дескрипторам, обозначающим химич. соединения, присоединяют определители роли типа: «быть исходным веществом в реакции», «быть конечным веществом, полученным в результате реакции», «быть катализатором» и т. д. Применение определителей роли, число к-рых намного меньше числа используемых дескрипторов, равносильно использованию «составных дескрипторов», образуемых из одного «элементарного» дескриптора и одного определителя роли. В нек-рых более развитых ИПЯ применяются более сложные способы образования составных дескрипторов. В ИПЯ, разработанном для металлургии и смежных областей науки и техники в исследовательском центре Кливлендского ун-та, из неск. сот элементарных дескрипторов (т. н. «семантических множителей» — СМ) при помощи ок. десятка определителей роли, наз. «аналитическими отношениями», образуются десятки тысяч составных дескрипторов сложных терминов в виде наборов пар, состоящих из СМ и аналитич. отношения. Так, сложный термин «телефон» описывается набором СМ: «машина, прибор, устройство» (код M-CH), «передача, транспортировка» (код T-RN), «информация, документация» (код Д-СМ), «электричество» (код L-CT), и аналитич. отношений: «быть объектом, представляющим собой член класса, обозначаемого СМ» (код A), «предназначаться для производства процесса, обозначаемого СМ» (код V), «подвергаться действию объекта (процесса), обозначаемого СМ» (код W) и «использовать объект или процесс, обозначаемый СМ» (код Q). СМ даются в квадратных скобках, а аналитич. отношения — в круглых. Тогда термин «телефон» описывается следующим образом: (быть членом класса) [машин, приборов, устройств]·(предназначенных для *процесса*) [передачи, транспортировки]·(*которому* подвергается) [информация]·(при этом используется) [электричество]·или в закодированном виде: DWCM. LQCT. MACH.TURN.; составляющие части кода расположены в алфавитном порядке. Из примера видно, что естеств. язык богаче по смысловому содержанию искусств. ИПЯ, к-рое лишь аппроксимирует этот смысл; так, в ИПЯ отсутствуют смысловые детали, передаваемые словами, напечатанными курсивом, а также самим порядком слов. Несмотря на это, благодаря описанной структуре ИПЯ, можно производить поиски как по сложным терминам (и их сочетаниям), так и по составным частям этих сложных терминов и тем самым по понятиям, имеющим более широкий объем. Напр., сложный термин «телефон» будет отвечать также на вопросы типа: «приборы, использующие электричество» или «передача информации». В упомянутом ИПЯ к каждому сложному термину присоединяют нек-рый определитель роли из числа трех десятков т. н. синтетич. отношений, предназнач. для уточнения смысловой роли термина внутри данного контекста (в отличие от аналитич. отношений, используемых для раскрытия смыслового содержания самих сложных терминов). Наборы пар сложных терминов и синтетич. отношений образуют фразы рассматриваемого ИПЯ, а определ. совокупности фраз — перевод некоторого документа (точнее его реферата телеграфного стиля) на ИПЯ. В наст. время Амер. об-вом металлургов эксплуатируется ИПС, использующая описанный ИПЯ и ИЛМ, способную просмотреть одновременно по 50 информац. запросам до 100 000 рефератов, запис. на магнитных лентах.

Помимо искусств. ИПЯ дескрипторного типа, для отдельных отраслей науки (биология, геометрия, органич. химия) разрабатываются основанные на символич. аппарате исчисле-

ния отдельных участков мыслит. деятельности человека. Гл. трудность — в создании соответствующих *алгоритмов* переработки информации. Любой построенный для этого случая алгоритм может быть осуществлен устройством типа универсальной ЦВМ с программным управлением и достаточным объемом оперативной памяти. Эффективная реализация того или иного процесса автоматич. Н.-т. и. о. требует создания машин, специализированных для этих целей; такие машины часто наз. информационно-логическими (ИЛМ) (см. *Информационная машина*).

Из числа процессов второй категории наибольшее внимание уделялось проблемам *машинного перевода*, развившимся в большую самостоят. область исследований, и задачам механизации и автоматизации информац. поисков. В задачах последнего типа необходимо из множества информации отбирать записи, отвечающие информац. запросу (вопросу). Прямое построение алгоритмов установления смыслового соответствия применительно к текстам и вопросам на естеств. языках представляется чрезвычайно затруднительным, поэтому задачу расчленяют на этапы. Сначала строят для данной области науки или техники некоторый искусств. язык (информационно-поисковый язык — ИПЯ), обычно намного более бедный, чем естеств. язык, но отличающийся простотой и регулярностью структуры. В совр. информационно-поисковых системах (ИПС) содержание исходных записей информации передается при помощи ИПЯ, используемого также для формулировки вопросов. Далее, применительно к ИПЯ строится алгоритм установления смыслового соответствия, осуществляемый либо человеком, либо механич. или автоматич. устройствами. В последних случаях записи на ИПЯ реализуются на бумажных картах, микрофильмовых или магнитных лентах и др. при помощи той или иной системы кодирования. В большинстве механич. и автоматич. ИПС для кодирования выражений ИПЯ используются лишь два состояния носителя (т. н. система двоичного кодирования), что равносильно записи информации двубукв. алфавитом, состоящим, напр., из 1 и 0. В ручных (в частности, библиотечных) ИПС чаще всего используют ИПЯ классификац. типа — набор смысловых единиц (понятий), называемых рубриками или терминами классификации, между к-рыми устанавливаются иерархич. отношения, образующие единое классификац. дерево. Содержание элементов информации (отдельных статей, книг или др. документов) передается одной или неск. классификац. рубриками, а содержание вопроса — одной такой рубрикой. Алгоритм установления смыслового соответствия дает положит. ответ, если термин вопроса совпадает или иерархически подчинен одному из классификац. терминов, характеризующих элемент информации. ИПЯ, используемые в автоматич. ИПС, представляют собой ограниченные наборы смысловых единиц — дескрипторов, к-рые ставят в соответствие либо определ. конкретным словам (или словосочетаниям) естеств. языков (такие разновидности дескрипторов наз. «ключевыми словами», или «унитермами») либо же классу равнозначных или достаточно близких по смыслу слов. При этом в простейших случаях между дескрипторами не устанавливаются никакие отношения иерархич. типа (дескрипторные языки без грамматики). Переводы текстов и вопросов на такой ИПЯ представляют собой наборы дескрипторов. Критерием смыслового соответствия считается наличие всех без исключения дескрипторов вопроса среди дескрипторов из набора, описывающего содержание текста. Такого (или лишь немного более сложного) типа ИПЯ и алгоритмы используются в ИПС, реализов. в виде массивов перфокарт с краевой или внутр. перфорацией, сортируемых соответственно вручную спицами или электромеханич. сортировальными устройствами.

Вполне сходны языковые средства, лежащие в основе большинства совр. автоматич. ИПС, к-рые существенно различаются по быстродействию и размерам массивов информации вследствие применения в них различных технич. средств, в частности фильмокарт и кинолент, просматриваемых фотоэлектрич. устройствами (системы типа миникард, фильморекс, рапид-селектор, филин и др.), и магнакарт (карты, покрытые ферромагнитным слоем), обрабатываемых при помощи ЦВМ. Дескрипторные языки без грамматики используются также в ИПС, реализованных в виде хорошо зарекомендовавших себя для ср. массивов информации суперпозиц. карт (или оптических, просматриваемых на просвет карт, или карт типа peek-a-boo). Такие системы отличаются от всех ранее упомянутых, в к-рых на каждом участке носителя (карте) кодируется набор дескрипторов, присущих определ. одному элементу информации, тем, что каждая суперпозиц. карта ставится в соответствие определ. дескриптору (а не элементу информации). На ней кодируются порядковые номера элементов информации, перевод к-рых на ИПЯ содержит данный дескриптор. Практически во всех используемых ныне ИПС процессы перевода текстов и вопросов с естеств. языков на ИПЯ (процессы индексирования) не алгоритмизованы и выполняются специалистами интуитивно. Автоматизация процессов перевода на ИПЯ возможна на основе методов, создаваемых в области машинного перевода и, в первую очередь, на основе т. н. тезаурусного метода, связанного с составлением списков равнозначных или близких по смыслу слов и словосочетаний естеств. языков, выражающих определ. смысловую единицу ИПЯ (определ. дескриптор).

Кроме описанных методов Н.-т. и. о., применяющихся на практике, разрабатываются многочисл. перспективные методы, к-рые, однако, еще далеки от практич. реализации. К этой области относятся, в частности, эксперименты по автоматич. индексированию текстов при помощи ЦВМ на статистич. основе: подсчитываются наиболее часто встречающиеся в данном тексте существительные и выписываются (в качестве ключевых словосочетаний) вместе с непосредственно сопровождающими их определяющими словами. Распознавание существительных и относящихся к ним определяющих слов производилось по формальным признакам с использованием особенностей естеств. (англ.) языка.

К этим экспериментам близки опыты по автоматич. реферированию, имеющие целью выбор из текста (напр., из журн. статей) небольшого числа наиболее «значимых» фраз. Сначала ЦВМ подсчитывает частоту встречаемости всех слов, затем исключается из рассмотрения определ. часть наиболее часто встречающихся слов (предлоги и др. служебные слова). Определ. процент оставшихся слов с наиболее высокой частотой встречаемости в дальнейшем считаются значущими словами, отражающими наиболее существ. черты смыслового содержания текста. Впоследствии подсчитывается смысловой «вес» фраз по простой ф-ле, в к-рой макс. вес приписывается фразам, включающим наибольшее число значащих слов, максимально близко располож. друг к другу в тексте фразы. Реферат составляется из числа фраз, имеющих вес, превышающий определ. пороговое значение. Они располагаются, напр., в порядке убывания смыслового веса.

Описанным методам обработки текстов родствен в известной мере метод автоматич. составления предметных указателей заглавий статей (указателей «ключевых слов в контексте» — key words in context, сокращенно KWIC). Для составления KWIC заранее подбирают фиксиров. список малозначащих слов, включающий неск. сот служебных слов (в частности, предлогов) и ряд слов, слишком часто встречающихся и, следовательно, также малоинформативных (напр., для химии слова «получение», «реакция», «изучение» и т. п.). Все слова, входящие в состав заглавий (за исключением таких малозначащих слов), считаются значащими. Указатель является списком заглавий, располож. в алфавитно-лексикографич. порядке значащих слов, входящих в их состав; при этом каждое заглавие фигурирует в списке столько раз, сколько в нем встречаются значащие слова. На стр. 368 дан отрывок из такого указателя, периодически выпускаемого с помощью ЦВМ амер. реферативной службой «Chemical Abstracts» под назв. «Chemical Titles» («Заголовки химических статей»). В указатель включаются заглавия статей, публикуемых в 500 важнейших химич. журналах; при этом его удается выпускать через две недели после выхода в свет самих журналов.

Дальнейшее развитие автоматич. ИПС зависит, в первую очередь, от усовершенствования дескрипторных ИПЯ постепенным введением элементов «грамматики» в их строй. Примером может служить применение в ИПЯ ряда работающих ИПС, т. н. «связок» (links) и «определителей роли» (roles). Применение связок равносильно расчленению содержания индексируемого текста (статьи) на две или неск. относительно самостоят. в смысловом отношении разделов, каждый из к-рых описывается отдельным набором дескрипторов. Определители роли — нек-рые простейшие одноместные предикаты, присоединяются к дескрипторам для уточнения их смысла в данном контексте; напр., к дескрипторам типа «давление», «температура», «выход реакции» можно присоединить такие определители роли, как: «быть независимой переменной, влияние к-рой на др. параметры изучается» или «быть зависимой переменной, для к-рой изучается зависимость от др. параметров». К дескрипторам, обозначающим химич. соединения, присоединяют определители роли типа: «быть исходным веществом в реакции», «быть конечным веществом, полученным в результате реакции», «быть катализатором» и т. д. Применение определителей роли, число к-рых намного меньше числа используемых дескрипторов, равносильно использованию «составных дескрипторов», образуемых из одного «элементарного» дескриптора и одного определителя роли. В нек-рых более развитых ИПЯ применяются более сложные способы образования составных дескрипторов. В ИПЯ, разработанном для металлургии и смежных областей науки и техники в исследовательском центре Кливлендского ун-та, из неск. сот элементарных дескрипторов (т. н. «семантических множителей» — СМ) при помощи ок. десятка определителей роли, наз. «аналитическими отношениями», образуются десятки тысяч составных дескрипторов сложных терминов в виде наборов пар, состоящих из СМ и аналитич. отношения. Так, сложный термин «телефон» описывается набором СМ: «машина, прибор, устройство» (код M-CH), «передача, транспортировка» (код T-RN), «информация, документация» (код Д-СМ), «электричество» (код L-CT), и аналитич. отношений: «быть объектом, представляющим собой член класса, обозначаемого СМ» (код A), «предназначаться для производства процесса, обозначаемого СМ» (код V), «подвергаться действию объекта (процесса), обозначаемого СМ» (код W) и «использовать объект или процесс, обозначаемый СМ» (код Q). СМ даются в квадратных скобках, а аналитич. отношения — в круглых. Тогда термин «телефон» описывается следующим образом: (быть членом класса) [машин, приборов, устройств]·(предназначенных для *процесса*) [передачи, транспортировки]·(*которому* подвергается) [информация]·(при этом используется) [электричество]·или в закодированном виде: DWCM. LQCT. MACH.TURN.; составляющие части кода расположены в алфавитном порядке. Из примера видно, что естеств. язык богаче по смысловому содержанию искусств. ИПЯ, к-рое лишь аппроксимирует этот смысл; так, в ИПЯ отсутствуют смысловые детали, передаваемые словами, напечатанными курсивом, а также самим порядком слов. Несмотря на это, благодаря описанной структуре ИПЯ, можно производить поиски как по сложным терминам (и их сочетаниям), так и по составным частям этих сложных терминов и тем самым по понятиям, имеющим более широкий объем. Напр., сложный термин «телефон» будет отвечать также на вопросы типа: «приборы, использующие электричество» или «передача информации». В упомянутом ИПЯ к каждому сложному термину присоединяют нек-рый определитель роли из числа трех десятков т. н. синтетич. отношений, предназнач. для уточнения смысловой роли термина внутри данного контекста (в отличие от аналитич. отношений, используемых для раскрытия смыслового содержания самих сложных терминов). Наборы пар сложных терминов и синтетич. отношений образуют фразы рассматриваемого ИПЯ, а определ. совокупности фраз — перевод некоторого документа (точнее его реферата телеграфного стиля) на ИПЯ. В наст. время Амер. об-вом металлургов эксплуатируется ИПС, использующая описанный ИПЯ и ИЛМ, способную просмотреть одновременно по 50 информац. запросам до 100 000 рефератов, запис. на магнитных лентах.

Помимо искусств. ИПЯ дескрипторного типа, для отдельных отраслей науки (биология, геометрия, органич. химия) разрабатываются основанные на символич. аппарате исчисле-

ния предикатов информационно-логич. языки (ИЛЯ), в к-рых наряду с формализацией процедур установления смыслового соответствия формализуются также процессы логич. вывода.

Построению ИПЯ должны предшествовать метатеоретич. исследования для выявления осн. понятий (элементарных смысловых единиц) и способов образования др. понятий (т. е. построения сложных смыслов), изучения существующих методов символич. записи информации и анализа приемов рассуждений, свойств. данной отрасли науки, в т. ч. и методов вывода по индукции и аналогии. Эти исследования и внедрение разрабатываемых на их основе новых символич. средств описания фактов имеют большое значение не только для подготовки к автоматизации все более сложных видов Н.-т. и. о., но и для успешного развития самих научных дисциплин. Особо важно внедрить символич. способы определения смыслового содержания вновь вводимых научных и технич. понятий. На этой основе и опираясь на успехи использования методов семантич. анализа текстов на естеств. языках представится возможным алгоритмизировать сами процессы семантич. контроля за ходом развития естеств. языков. В перспективе имеется в виду их реализация в процессе обучения, а затем и самообучения ИЛМ на основе все новых текстов, появляющихся в определ. области науки и вводимых в машину на естеств. языках, при этом — на первом этапе — вместе с переводом на ИПЯ, выполненным человеком. В результате такого процесса ИПЯ будет автоматич. расширяться и пополняться.

Разработка и развитие ИПЯ для различных областей науки и техники вместе с разработкой ИЛМ открывают перспективы автоматизации не только процессов поиска информации, но и прогнозирования новых фактов, выводимых из совокупности накопл. сведений. Это будет означать постепенную эволюцию первонач. справочных ф-ций ИПС в сторону ф-ций консультанта высокой квалификации. По этой линии идут, напр., при разработке методов автоматизации обработки при помощи ЦВМ закодиров. чертежей с целью автоматизации процесса составления подробной технологич. карты произ-ва машиностроит. деталей, а также алгоритмизации нек-рых видов проектных и конструкторских работ. Большую пользу здесь может принести сочетание чисто вычислит. методов с логическими, комбинаторными методами. В более отдаленной перспективе комплексы взаимосвязанных ИЛМ, обслуживающих вначале узкие, а затем более широкие области науки и техники, смогут выполнять ф-ции единых централизов. систем по Н.-т. и. о. Эти комплексы машин, снабженных разветвл. сетью вводных (читающих) и выводных (печатающих) устройств, размещаемых непосредственно в местах зарождения и потребления информации в лабораториях н.-и. и проектно-конструкторских учреждений и соединяемых средствами связи с центр. устройствами, будут выполнять все разнообразные виды обработки информации. Накапливая в своих ЗУ всю массу вводимых сведений, они будут доставлять ее непрерывно потребителям в соответствии с сформулированными каждым из них более или менее пост. тематич. заявками, уточняемыми в результате обратных связей, выражающихся сигналами, подтверждающими или опровергающими заинтересованность потребителей в отдельных выдаваемых им элементах информации. Информация будет доставляться в виде сжатых рефератов, а по запросу потребителя будут выдаваться более подробные рефераты или детализиров. сведения. Кроме того, периодически (в соответствии с тематич. профилем) или по предъявляемым системе запросам потребитель получит тематич. обзоры и специализиров. для его нужд указатели, а также др. продукты выполняемых системой процессов логич. и статистич. обработки совокупности накапливаемых сведений. Уже достигнутые результаты показывают, что эволюция идет в сторону создания подобных систем, осуществляющих в перспективе полную комплексную автоматизацию процессов Н.-т. и. о.

Лит. см. при ст. *Информационный поиск.*

Г. Э. Влэдуц.

НАЧАЛЬНЫЕ ЗНАЧЕНИЯ, условия (initial value; valeur initiale; Anfangswert),— значения обобщенных координат системы, производных обобщенных координат или параметров системы в начальный момент времени. Для САР описываемой линейным дифференц. ур-нием n-го порядка задание Н. з. означает задание координаты системы $x(t)$ и ее $(n-1)$ производных $x'(t)$, $x''(t)$,..., $x^{(n-1)}(t)$ при $t=t_0$ и позволяет получить реакцию САР на единичный импульс $\delta(t-\tau)$, т. е. *импульсную переходную функцию* $W(t, \tau)$. В случае, когда система описывается дифференц. ур-нием

$$L_t x = a_0(t)\frac{d^n x}{dt^n} + a_1(t)\frac{d^{(n-1)}x}{dt^{n-1}} + \ldots + a_n(t)\,x = f(t).$$

$W(t, \tau)$ является решением однородного ур-ния $L_t W(t, \tau)=0$, при Н. з.

$$W(t, \tau) = W'(t, \tau) = W''(t, \tau) = \ldots = W^{(n-2)}(t, \tau) = 0,$$

$$W^{(n-1)}(t, \tau) = \frac{1}{a_0(t)}, \text{ при } t=\tau.$$

Образец указателей заглавий статей, составленный ЦВМ
(курсивом показаны различные вхождения в указатель одного и того же заглавия).

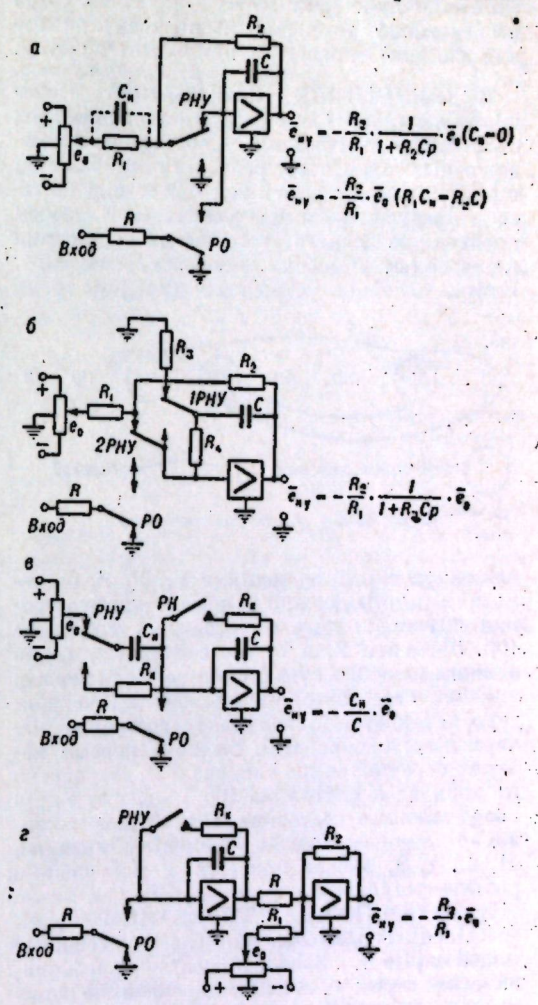
OF BISMUTH AND ALKALINE	EARTH METALS IN THE PRESENCE OF EACH	APHG—0032—0156
ARTHS FROM SODIUM RARE=	EARTH SULPHATES. = + OF LIGHT RARE E	ACAC—0027—0396
TERNAL STRUCTURE OF THE	*EARTH. =*	*IN GEOK—1962—0649*
OF LIGHT RARE	EARTH FROM SODIUM RARE—EARTH SULPHA	ACAC—0027—0396
THE PRESENCE OF ALKALINE	EARTHS. = + OF URANIUM IN I	CCAC—0034—0109
CONSIDERATIONS ON THE	INTERNAL PLASTICIZING EFFECTS OF	KGKZ—0065—1253
ENERGY AS A FUNCTION OF	INTERNAL RORATION IN 1,2—DI BROMO—1,	JCPS—0037—0411
	INTERNAL STRUCTURE OF THE EARTH. =	*GEOK—1962—0649*
ENE—1,4 IN AN ATTEMPTED	INTERNAL WITTIG REACTION. = + HEXA DI	JOCE—0027—3334
OF AVENA FIRST	INTERNODES IN THE PRESENCE OF AUXINS	NATU—0195—0780
I =		
INC CHLORIDE + CRYSTAL	STRUCTURE OF THE ALKALOID DUBINIDINE	DANU—19—01—050
INTERNAL	STRUCTURE OF THE COMPLEX FORMED BY Z	DANK—0145—0801
TATES OF RUBI + HYPERFINE	*STRUCTURE OF THE EARTH. =*	*GEOK—1962—0649*
VALENCE BAND	STRUCTURE OF THE ELECTRONIC GROUND S	PHRV—0127—0524
	STRUCTURE OF THE III—C COMPOUNDS. =	PCSO—0023—1423

Н. з. существенно влияют на качество процессов регулирования и при необходимости удовлетворить определенным требованиям при неск. типах Н. з. следует определять показатели качества регулирования каждого из них в отдельности. *А. И. Тейман.*

НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ в аналоговой вычислительной машине (initial conditions in an analogue computer; conditions initiales dans un calculateur analogique; Anfangsbedingungen in der analogen Rechenmaschine) — значения напряжений на выходах операц. усилителей в момент начала решения, соответствующие в определ. масштабе Н. у. решаемого дифференц. уравнения. Масштабы Н. у. определяются из ур-ний структурной схемы моделирования по предварительно рассчитанным коэфф. передач решающих элементов и масштабу представления зависимой переменной (см. *Аналоговой вычислительной машины применения*, 1). Н. у. задаются зарядом интегрирующего конденсатора или подключением к выходу интегратора спец. сумматора, добавляющего напряжение Н. у. [1]. Схемы с зарядом интегрирующего конденсатора основаны на подключении конденсатора к источнику напряжения Н. у. на все время предпускового периода, что исключает погрешность из-за утечки заряда. В схеме (рис., *а*) это достигается переводом интегратора в режим инерц. звена. Основной недостаток схемы — достаточно длит. переходной процесс, что затрудняет точную установку Н. у. и требует дополнит. времени. Процесс можно ускорить подключением вспомогат. конденсатора $C_н$ и подбором параметров схемы в соответствии с равенством $R_1C_н=R_2C$. Тогда напряжение Н. у. установится практически мгновенно. Неточное соблюдение равенства приводит при $R_1C_н<R_2C$ к замедлению процесса установки Н. у., а при $R_1C_н>R_2C$ — к скачку напряжения на выходе усилителя, что может вывести усилитель за пределы линейности. В более сложной схеме (рис., *б*) интегратор переводится в режим масштабного усилителя, к выходу к-рого подключается интегрирующий конденсатор. Время установления Н. у. связано с величиной сопротивления R_3, выбираемого из условия устойчивости усилителя и обычно достаточно мало. В *аналоговой вычислительной машине с повторением решения* при частоте свыше 10 *гц*, где требуется особенно малая постоянная времени заряда интегрирующего конденсатора, интегратор перед началом работы также переводится в режим масштабного усилителя, но с емкостью во входной цепи (рис., *в*). Для точной установки Н. у. необходимо обе емкости предварительно разрядить.

Хорошими динамич. св-вами обладает схема установки Н. у. с помощью сумматора, подключаемого к выходу интегратора (рис., *г*). Ее особенно часто применяют в режиме с периодизацией, т. к. она позволяет производить автоматич. компенсацию *дрейфа нулевого уровня* усилителей в момент паузы. Осн. ее недостаток — наличие дополнит. сумматоров, хотя часто вместо них можно использовать усилители, уже входящие в схему набора задачи.

Разновидностью схем для установки Н. у. являются схемы для накопления Н. у. [2]. Такие схемы применяются при решении задач, в к-рых динамич. диапазон представления переменных превышает динамич. диапазон решающих элементов АВМ. Для решения задач, описываемых дифференц. ур-ниями с незаданными или неполностью заданными Н. у., но с дополнительно заданными граничными



Схемы установки начальных условий: *РНУ* — реле нач. условий; *РО* — реле останова; *РК* — реле для разряда конденсатора; e_0 — напряжение от источника питания; $e_{НУ}$ — напряжение нач. условий.

или другого рода условиями, применяется *оптимизатор*. Путем поиска он осуществляет подбор недостающих Н. у. из условия минимизации заданного критерия оптимальности.

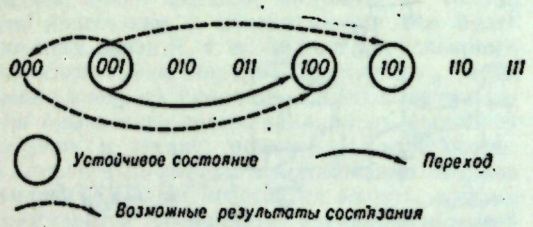
Лит.: 1) Коган Б. Я., Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования, М., 1959; 2) его же, О воспроизведении процессов разгона ядерных реакторов на электронных моделирующих устройствах, «ИАН СССР. ОТН. Энергетика и автоматика», 1960, № 4. *Н. А. Смирнов.*

НЕВОЗМУЩЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ (undisturbed motion; mouvement non-perturbé; Bewegung ohne Schwankungen, schwankungslose Bewegung) — любое возможное, но вполне определенное для всякого значения $t \geqslant t_0$, движение динамич. системы, относительно к-рого рассматриваются все др. движения этой системы. Н. д. соответствуют заданные нач. условия и возмущающие ф-ции, к-рые представляют известные ф-ции времени, определенные для всякого $t \geqslant t_0$. Т. о., Н. д. является вполне определенным частным решением дифференц. ур-ний, описывающих поведение динамич. системы. Роль Н. д. может играть

всякое возможное движение системы, и его выбор зависит исключительно от нашего желания; в автоматич. регулировании обычно выбирают либо *установившееся движение* системы, либо *равновесия состояние*. При исследовании устойчивости периодич. движений системы последнее принимают за Н. д.

В. Ю. Рутковский.

НЕДОПУСТИМОЕ СОСТЯЗАНИЕ (inadmissible competition; compétition inadmissible; unzulässiger Wettbewerb) — состязание промежуточных элементов релейного устройства, в результате которого в нем может нарушиться предусмотренный условиями работы переход из одного устойчивого состояния в другое (см. *Релейных элементов состязание*). Напр., релейное устройство (рис.) с тремя



промежуточными элементами Y_1, Y_2 Y_3 по условиям работы должно из устойчивого состояния 001 переходить в устойчивое состояние 100. Элементы Y_1 и Y_3 состязаются, т. к. оба должны изменить свое состояние. Если первым изменит свое состояние элемент Y_3, устройство перейдет в устойчивое состояние 100 через неустойчивое 000. Если же первым изменит свое состояние элемент Y_1, устройство не попадет в состояние 100, а попадет в другое устойчивое состояние 101. Такое состязание промежуточных элементов является Н. с., т. к. может привести к нарушениям работы устройства.

В. В. Воржева.

НЕЗАТУХАЮЩИЕ КОЛЕБАНИЯ (self-sustained oscillations; oscillations entretenues; ungedämpfte Schwingungen) — колебания, энергия к-рых с течением времени не изменяется. В реальных физич. системах всегда существуют причины, вызывающие переход энергии колебаний в тепловую (напр., трение в механич. системах, активное сопротивление в электрич. системах). Поэтому Н. к. можно получить только при условии, что эти потери энергии восполняются. Такое восполнение автоматически осуществляется в автоколебат. системах за счет энергии из внешнего источника. Электромагнитные Н. к. используются чрезвычайно широко. Для их получения применяются различные *генераторы электромагнитных колебаний*.

Практическое применение нашли Н. к. в диапазоне длин волн порядка от десятков *км* до долей *мм* разнообразных форм, наиболее часто — близкие по виду к гармоних., прямоугольным и пилообразным колебаниям.

Лит.: Гоноровский И. С., Основы радиотехники, М., 1957.

Л. И. Кацов.

НЕИСПОЛЬЗУЕМОЕ СОСТОЯНИЕ релейного устройства (unused state; état inutilisé; nicht ausnutzbarer Zustand) — такая комбинация состояний релейных элементов, которая по условиям работы устройства не может иметь места. Для записи Н. с. в *таблицу состояний* обычно применяются те же символы, что и для записи *безразличных состояний*: ϕ, $\sim$ и др. Если таблица состояний логической ф-ции, описывающей работу релейного устройства, содержит Н. с., то такая ф-ция наз. недоопределенной. Поскольку Н. с. не могут встретиться в реальной работе устройства, им так же, как и в случае безразличных состояний, могут быть поставлены в соответствие произвольные состояния промежуточных и исполнит. элементов. Это означает, при синтезе схемы, что логич. ф-ция тем или иным способом доопределяется. Если таблица состояний ф-ции содержит k неиспользуемых состояний, то этим состояниям можно поставить в соответствие 0 или 1 в качестве значений ф-ции 2^k, различными способами получив 2^k различных полностью определенных логич. ф-ций. Удачный выбор варианта доопределения, как правило, позволяет упростить структуру устройства.

Лит.: Рогинский В. Н., Учет неиспользуемых состояний при синтезе релейно-контактных схем, «АиТ», 1954, т. 15, № 3, с. 206—22.

В. Д. Казаков.

НЕЙРИСТОР (neuristor; neuristor; Neuristor)—технич. устройство, моделирующее определ. св-ва нейрона и сочетающее в себе дискретные и непрерывные св-ва. Термин «Н.» был впервые введен, по-видимому, Х. Д. Крейном в 1960. Н. можно представить себе в виде нек-рого количества моностабильных схем, соединенных последовательно. Сигнал, возникающий на выходе одной схемы, поступает на вход соседней и переводит ее в возбужд. состояние. Через время Δt сигнал поступает на вход следующей соседней схемы и т. д. Каждый элемент повторяет процессы, происходящие в элементе, стоящем перед ним, но с запаздыванием на Δt. Основная особенность Н.—однородность (однотипность схем) вдоль линии.

Н. следует считать частным случаем *континуальных моделей* управляющих систем. На рис. 1 изображен дискретный аналог Н.,

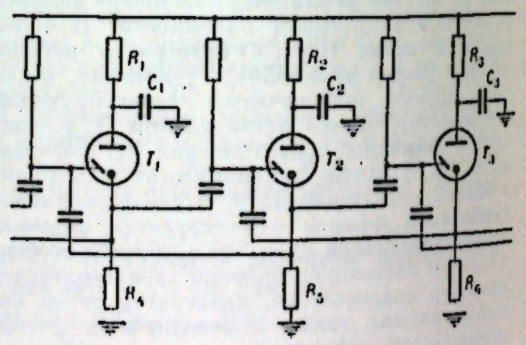


Рис. 1.

построенный на тиратронах с холодным катодом. В нач. момент времени емкости C_1, C_2, C_3 заряжены и хранят нек-рый запас энергии. Величины сопротивлений R_1, R_2, R_3 выбраны так, чтобы тиратроны не загорались. Если на поджигающий электрод одного из тиратронов подать импульс, то тиратрон вспыхивает на время разряда емкости и с его катодного сопротивления снимается импульс, зажигающий соседние тиратроны. После разряда емкости тиратрон гаснет и в течение нек-рого времени, наз. временем рефрактерности, необходимого для заряда емкости, невосприимчив к внешним воздействиям. Т. о., поданный на схему импульс начинает распространяться в обе стороны от точки, к к-рой он был приложен, оставляя после себя зону рефрактерности. Далее будем изображать такую схему в виде, представленном на рис. 2.

Использование Н. имеет смысл только в том случае, если удастся создать схему Н. с распредел. параметрами. Один из возможных

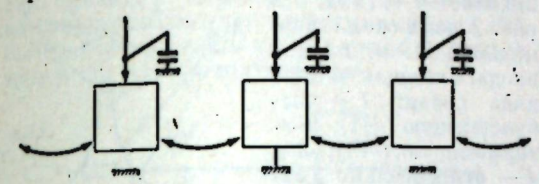


Рис. 2.

вариантов такого устройства дан на рис. 3, хотя достоверных сведений о его действительной реализации пока не имеется. Через тонкую пленку из термисторного материала пропускается электрич. ток. Пленка является одной обкладкой конденсатора, др. обкладка — из обычного проводника. Если в нек-рой точке локально повысить темп-ру термисторного материала, то это приведет к понижению сопротивления в этом месте и локальному разряду распределительной емкости, что в свою очередь приведет при соответствующих параметрах устройства к дальнейшему разогреву термистора. Передача тепла от нагретой точки к соседним приведет к распространению вдоль Н. за счет энергии, накопленной на конденсаторе, теплового импульса, за фронтом к-рого

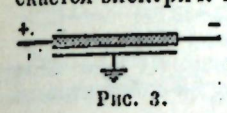


Рис. 3.

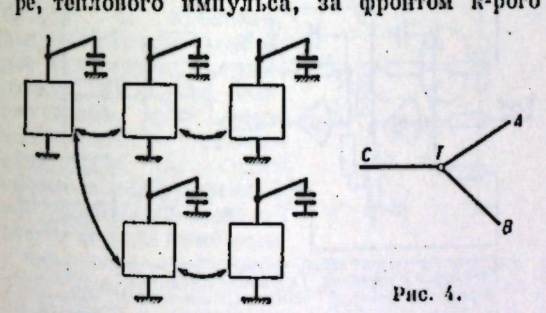


Рис. 4.

остается зона разряда (зона рефрактерности). Для Н. характерно, что два импульса, встречаясь в нем, не интерферируют, а взаимно уничтожаются, т. к. наличие рефрактерности делает невозможным использование суперпозиции импульсов (принцип Гюйгенса не выполняется).

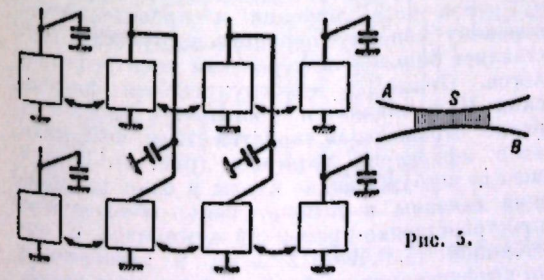


Рис. 5.

Н. могут соединяться друг с другом двумя способами: T-соединение (рис. 4) и S-соединение (рис. 5). T-соединение — это импульсная связь между Н., а S-соединение — энергетическая.

Использование соединений этих двух типов позволяет строить, напр., любые вычислит. схемы. Так, схема рис. 4 относительно входов на любых двух ее концах и выходах на третьем осуществляет операцию «или». На рис 6 схема складывает по модулю два импульса, поступающие на входы A и B относительно выхода C. Эта же схема может служить вентилем — она пропускает импульсы от B к C, но не пропускает импульсы от C к B. Следует помнить, что все операции реализуются только при правильном выборе геометрич. размеров нейристорных элементов, т. к. время проведения импульса по Н. зависит от его длины. Схема на рис. 7 позволяет запомнить импульс, заставив его циркулировать в кольце.

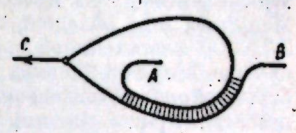


Рис. 6.

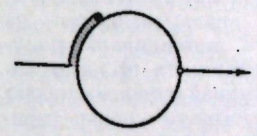


Рис. 7.

Если удастся технически просто реализовать Н. в виде микроминиатюрного устройства на тонких пленках, это, по-видимому, позволит строить необычайно интересные схемы, по некоторым своим свойствам приближающиеся к структурам живой ткани.

Лит.: Crane H. D., Neuristor studies, Stanford University. Electronics laboratory, Report 1506—2, July, 1960; Гельфанд И. М., Цетлин М. Л., О континуальных моделях управляющих систем, «ДАН СССР», 1960, т. 131, № 6; Винер Н., Розенблют А., Проведение импульсов в сердечной мышце. Математическая формулировка проблемы проведения импульсов в сети связанных возбудимых элементов, в частности в сердечной мышце, пер. с англ., в кн.: Кибернетический сборник, 3, М., 1961; Балаховский И. С., О возможности моделирования простейших актов поведения дискретными однородными средами, в кн.: Проблемы кибернетики, М., 1961, вып. 5; Crane H. D., The neuristor. Principles of self-organization, Pergamon Press, 1962.

В. И. Варшавский.

НЕЙРОНОВ МОДЕЛЬ (neuron simulator; simulateur neuronique; Neuronenmodell) — пороговый элемент, обладающий рядом св-в нейронов. В частности, Н. м. реализует интегрирование во времени сигналов, приходящих на входы и передает возбуждение на выход с задержкой по закону «все или ничего». Нейрон (рис. 1) — осн. функцион. единица нервной системы — состоит из тела клетки *1*, содержащего ядро и цитоплазму, заключенную в оболочку (мембрану), от к-рой отходят ветвящиеся отростки—дендриты *2* и осевой отросток или нервное волокно — аксон *3*, заканчивающийся концевым разветвлением *5*, примыкающим к др. клеткам через синаптич. контакты или синапсы *6*. От аксона отходят боковые отростки (коллатерали) *4*, также

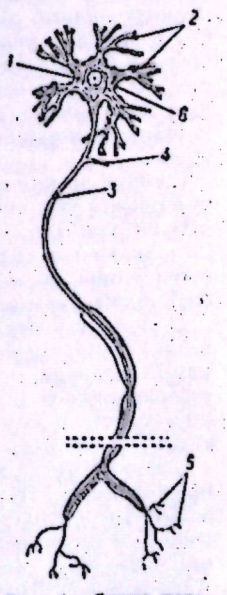


Рис. 1. Схема нервной клетки (нейрона).

ны, то действие проходной емкости C_{ac} будет нейтрализовано. Это значит, что связь анодной цепи с цепью сетки, существующая из-за наличия емкости C_{ac}, нейтрализована др. связью, равной по величине и обратной по знаку. При Н. появляющееся на аноде переменное напряжение не вызывает тока в цепи сетки. Емкости C_{ac}, C_{ck}, C_3 и C_4 образуют плечи моста, в диагоналях к-рого (рис., *в*) находятся катушка L_1 и сопротивление R_{i2} (эквивалентное сопротивление в цепи анода лампы последующего каскада усилителя). Для обеспечения баланса схемы должно быть выполнено условие $C_3/C_4=C_{ck}/C_{ac}$, где C_{ck} — емкость между управляющей сеткой и катодом лампы. Для подбора нужного соотношения C_3/C_4 любой из конденсаторов C_3 и C_4 (или оба) делают подстроечным.

Н. по схеме рис., *в* при тщательном конструктивном выполнении обеспечивается в широком диапазоне частот. Так, напр., в переключателе телевизионных каналов подобная Н. эффективна в диапазоне 50—230 *Мгц*. Рассмотренная схема, а также включение одиночной катушки индуктивности широко применяются для Н. обратных связей в предварит. усилителях промежуточной частоты радиолокац. приемников, в усилителях телевизионных приемников, в мощных каскадах передатчиков и др.

Лит.: Модель З. И., Радиопередающие устройства, [3 изд.], М., 1961; Азатьян А., «Р», 1958, № 7.

И. А. Стрельцов.

НЕЙТРАЛЬНЫЙ ОБЪЕКТ по s координатам $x_1,\ldots,x_s$ (neutral controlled plant; installation réglée neutre; neutrales Objekt)— объект регулирования, описываемый системой ур-ний вида

$$\dot{x}_k=\sum_{i=1}^{n} b_{ki}x_i, \qquad (1)$$

где $k=1, \ldots, n$ — порядок системы; x_k — обобщенные координаты; b_{kl} — постоянные параметры объекта, для к-рой выполняются условия $\mathrm{Re}\,\varrho_1=\ldots=\mathrm{Re}\,\varrho_s=0$, $\mathrm{Re}\,\varrho_{s+l}>0$, где $l=1, \ldots, n-s$; Re — действит. часть, $\varrho_1,\ldots,\varrho_s$ — корни ур-ния:

$$D(\varrho)=|b_{lk}+\varrho\delta_{lk}|=0, \quad \delta_{ik}=\begin{cases}0 \text{ при } k\neq i\\ 1 \text{ при } k=i.\end{cases}$$

Случаю чисто мнимых корней соответствуют консервативные объекты (см. *Консервативная система*), в к-рых возможны периодич. режимы. В случае нулевых корней $\varrho_1\ldots\varrho_s$ Н. о. обладает безразличным положением равновесия. Одномерный Н. о. в общем случае описывается линейным дифференц. ур-нием:

$$a_0\frac{d^n x_{вых}}{dt^n}+a_1\frac{d^{n-1}x_{вых}}{dt^{n-1}}+\ldots$$

$$\ldots+a_{n-s}\frac{d^{n-s}x_{вых}}{dt^{n-s}}=x_{вх}.$$

Для него существует статич. зависимость между входной и s-ной производной выходной величины.

Для $s=1$ в характеристич. ур-нии $D(\varrho)=a_0\varrho^n+a_1\varrho^{n-1}+\ldots+a_{n-1}\varrho=0$ содержится один нулевой корень, а все остальные корни имеют отрицат. действит. часть. Такой объект наз. также астатическим объектом или объектом без *самовыравнивания*. Простейший астатич. объект описывается дифференц. ур-нием $a_0\frac{dx_{вых}}{dt}=x_{вх}$, в к-ром скорость изменения выходной величины безынерционно следует за входной величиной. Он соответствует *интегрирующему звену*.

В любом астатич. объекте при подаче ступенчатого входного воздействия после окончания переходного процесса скорость изменения выходной величины пропорциональна величине входного воздействия. Выходная величина при неизменном значении входной величины может неограниченно нарастать или убывать. Статич. коэфф. усиления объекта есть отношение скорости изменения выходной величины к входной величине.

Лит.: Воронов А., Элементы теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1954; Летов А. М., Устойчивость нелинейных регулируемых систем, М., 1955; Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

А. А. Лухин.

НЕЛИНЕЙНАЯ СИСТЕМА (nonlinear system; système non-linéaire; nichtlineares System) — система, процессы в к-рой не могут быть исследованы в линейном математич. приближении. При описании Н. с. нельзя применять принцип суперпозиции. Возрастающая необходимость исследования Н. с. определяется тем, что нелинейность элементов любой системы все сильнее сказывается с расширением диапазона ее работы. Выход из линейной области обусловлен нарастающей жесткостью конструктивных и эксплуатационных требований к системе вследствие стремления макс. использовать ее возможности. Создание систем, обеспечивающих наилучшие в заданном смысле (оптимальные) показатели, приводит к обязательному учету нелинейности объекта управления и к применению нелинейных управляющих устройств. Бо́льшая часть современных электронных, автоматич. и вычислит. устройств основана на нелинейных физич. эффектах. Пассивные элементы с нелинейной хар-кой вход — выход (диоды, нелинейные сопротивления, емкости и индуктивности) позволяют осуществить различные схемы преобразователей, простейших генераторов, параметрич. стабилизаторов. Элементы с дополнит. подводом энергии, нелинейная хар-ка к-рых зависит от управляющего входного воздействия (электрич. машина, реле, электронная лампа, ПП триод, дроссель с подмагничением), дают возможность создать различные схемы усилителей и служат основой современных САР. Элементы с неоднозначной нелинейной хар-кой, выход к-рых зависит от управляющего воздействия, поданного в предыдущий момент времени, позволяют осуществить схемы аналоговой и дискретной памяти и служат основой логич. и вычислит. устройств. Нелинейный характер распространения магнитной волны в ферромагнетике обусловливает получение ударных импульсов длительностью $\sim 10^{-9}$ сек.

Для Н. с. характерна работа в режимах, принципиально неосуществимых в линейной системе: смена состояний равновесия, автоколебания, дискретное изменение амплитуды и кратное изменение частоты вынужденных колебаний, зависимость частоты автоколебаний от частоты внешнего воздействия (захватывание), возбуждение комбинационных частот и подавление слабого сигнала сильным. На использовании этих явлений основана работа

важнейших элементов систем связи, автоматич. и вычислит. устройств (процессы детектирования, модуляции, преобразования частоты реализуются нелинейными элементами). Сложность поведения Н. с., а также сложность математич. анализа нелинейных дифференц. уравнений затрудняют исследование Н. с., в ходе к-рого возникают задачи: 1. Определение равновесных состояний и автоколебат. режимов автономной Н. с., исследование их устойчивости. 2. Исследование работы и определение хар-ки Н. с. при детерминированном входном сигнале. Исследование вынужденных колебаний. 3. Определение вероятностных хар-к Н. с. при случайном входном сигнале. 4. Определение структуры Н. с. и расчет параметров управляющих элементов, обеспечивающих заданные или оптимальные показатели (задача синтеза).

Состояние автономной Н. с. характеризуется изображающей точкой в фазовом пространстве, число координат x_l к-рого n равно порядку дифференц. ур-ния системы. Значения координат состояний равновесия (особых точек фазового пространства) x_{ls} соответствуют корням ур-ния статики, получаемого после приравнивания нулю всех входящих в дифференц. ур-ние производных. Применение качественных методов исследования дифференц. ур-ний позволяет разбить фазовое пространство на области существенно различных траекторий, соответствующих различным режимам работы Н. с. Периодич. режимы изображаются особыми изолированными замкнутыми траекториями (предельными циклами). Задача исследования облегчается при кусочно-линейной аппроксимации нелинейных хар-к (рис. 1).

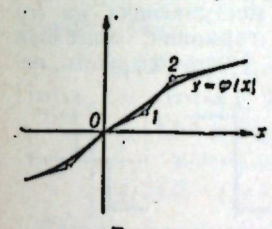


Рис. 1.

В этом случае решение нелинейного дифференц. ур-ния строится путем согласования (припасовки) решений линейных дифференц. ур-ний пограничным условиям перехода с одного участка ломаной на другой. Точное исследование такой системы с привлечением метода точечных преобразований А. А. Андронова теоретически всегда возможно, однако трудоемкость вычислений позволяет исследовать лишь сравнительно простые Н. с. При исследовании Н. с., описываемой дифференц. ур-нием не выше 2-го порядка, на фазовой плоскости удобны графич. методы. Фазовая траектория уравнения $\frac{d^2x}{dt^2}+f\left(x, \frac{dx}{dt}, t\right)=0$ может быть построена после его преобразования к виду $\frac{d\nu}{dx}=-\frac{x+\delta}{\nu}$ (где $\nu=\frac{dx}{d\tau}$, $\tau=\omega_0 t$, $\delta=\frac{f(x,\nu,\tau)}{\omega_0^2}-x$) сопряжением малых дуг окружностей $\nu^2+(x+\delta_l)^2=R_l^2$ с центрами в точках $(x_l=-\delta_l, \nu=0)$. Величина участков построения должна быть такова, чтобы изменением δ можно было пренебречь и считать $\delta_l=\delta_{lcp}$. На рис. 2 δ-методом построена фазовая траектория ур-ния Релея

$$\frac{d^2x}{d\tau^2}-\varepsilon\left[\frac{dx}{d\tau}-\frac{1}{3}\left(\frac{dx}{d\tau}\right)^3\right]+x=0.$$

Исследование устойчивости равновесия Н. с. основано на положениях первого и второго методов Ляпунова.

Приближенное аналитич. исследование Н. с. при сравнительно слабом влиянии нелинейности возможно методами малого параметра (возмущений, вариации параметров), прямыми

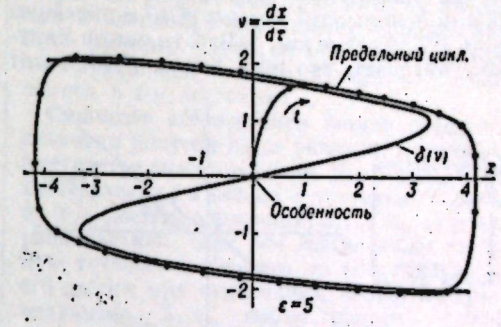


Рис. 2.

вариационными методами Ритца и Галеркина, методами последоват. приближений и гармонич. баланса. Метод вариации параметров особенно полезен при исследовании вынужденных колебаний Н. с. Считая изменение амплитуды A и фазы θ колебаний медленным, заменяют мгновенное значение скорости этого изменения средним за период. Для заданной кратности частоты колебаний и частоты внешнего воздействия можно получить дифференц. ур-ния $\left(\frac{dA}{dt}\right)_{ср}=f_1(A,\theta)$; $\left(\frac{d\theta}{dt}\right)_{ср}=f_2(A,\theta)$ траекторий [3] в своеобразной фазовой плоскости $x+jy=Ae^{j\theta}$ (рис. 3). Периодич. колебаниям $A=\mathrm{const}$, $\theta=\mathrm{const}$ соответствуют особые

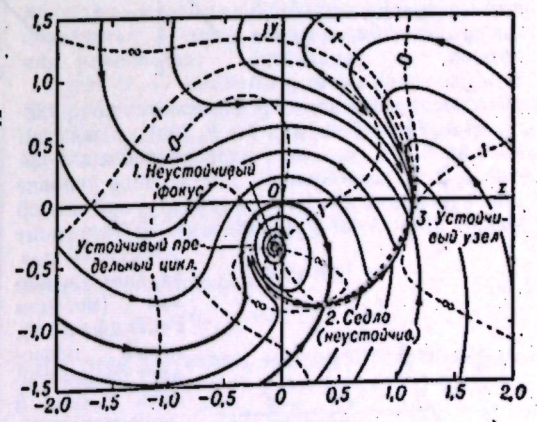


Рис. 3.

точки этой плоскости. Предельным циклом изображается почти периодич. движение (модулированные колебания), амплитуда и фаза к-рого периодичны.

В последнее время выведено неск. частотно-энергетич. соотношений, из к-рых наиболее известны ф-лы амер. ученых Мэнли и Роу для нелинейного конденсатора и дросселя без потерь

$$\sum_{m=1}^{\infty}\sum_{n=-\infty}^{\infty}\frac{mP_{m,n}}{m\omega_1+n\omega_0}=0;$$

$$\sum_{m=-\infty}^{\infty}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{nP_{m,n}}{m\omega_1+n\omega_0}=0,$$

где $P_{m,n}$ — мощность, потребляемая элементом на гармоник. составляющей колебаний, частота к-рой $m\omega_1+n\omega_0$. Развитие частотных методов исследования Н. с. особенно перспективно.

В Н. с., состоящих из элементов направленного действия (САР, вычислит. устройства), обычно удается структурно выделить приведенный нелинейный элемент *ПНЭ* и линейную часть *ЛЧ* по схеме рис. 4. Из 2-го метода Ляпунова вытекает, что если хар-ка *ПНЭ* лежит

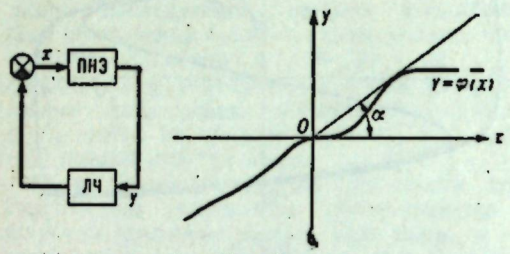


Рис. 4.

только в 1 и 3 квадратах, а *ЛЧ* состоит из любого числа устойчивых и содержит не более чем одно нейтральное (интегрирующее) звено, то для абсолютной (при любых нач. отклонениях) устойчивости системы достаточно, чтобы $\mathrm{Re}\,[(1+j\omega q)\,k\,(j\omega)+\frac{1}{c}]\geqslant\delta>0$, где $k\ (j\omega)$ — комплексный коэфф. усиления *ЛЧ*, $c=tg\alpha$. Иными словами, если через точку $\left(-\frac{1}{c}+j0\right)$ комплексной плоскости можно провести прямую так, что видоизмененная амплитудная фазовая хар-ка $k_в\ (j\omega)$ линейной части целиком остается справа, то равновесие Н. с. в точке $x=0$, $y=0$ абсолютно устойчиво. $k_в(j\omega)$ строится по правилу $\mathrm{Re}k_в(j\omega)=\mathrm{Re}k\,(j\omega)$, $\mathrm{Im}\,k_в\,(j\omega)=\omega\mathrm{Im}k\,(j\omega)$. На рис. 5 для системы *1* выполняется и для системы *2* не выполняется достаточное условие абс. устойчивости. Н. с. со структурной схемой рис. 4 допускают приближенное исследование *гармонического баланса методом* (методом Гольдфарба), к-рый позволяет рассматривать также и вероятностные хар-ки системы. Для релейных и нелинейно-импульсных систем разработаны точные частотные методы исследования. Теоретические основы синтеза оптимальных систем дает принцип максимума Л. С. Понтрягина и метод динамич. программирования Р. Беллмана. Практич. решение этих задач возможно при широком привлечении средств современной аналоговой и цифровой вычислит. техники, позволяющей значительно расширить круг доступных исследованию нелинейных задач.

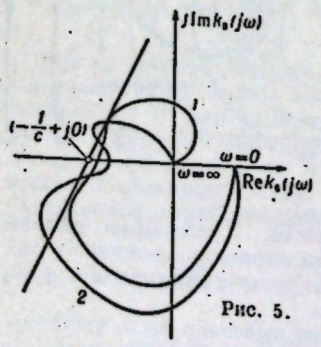


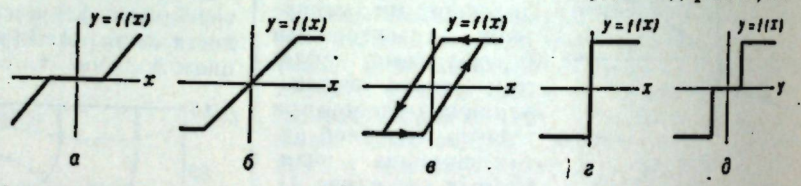
Рис. 5.

Лит.: Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959; Каппинггхем В., Введение в теорию нелинейных систем, пер. с англ., М. —Л., 1962; Хаяси Тихиро, Вынужденные колебания в нелинейных системах, пер. с англ., М., 1957; Цыпкин Я. З., Теория релейных систем автоматического регулирования, М., 1955; Боголюбов Н. Н., Митропольский Ю. А., Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний, 2 изд., М., 1958; Попов В. М., Об абсолютной устойчивости систем автоматического регулирования, «А и Т», 1961, № 8; Понтрягин Л. С. [и др.], Математическая теория оптимальных процессов, М., 1961; Поливанов К. М., Жарков Ф. П., Соколов В. А., Параметрон с ферромагнитным сердечником, «ИВУЗ. Радиотехника», 1962, № 4—5; Метод Гольдфарба в теории регулирования, [Сб. ст.], М.—Л., 1962.

Е. Б. Пастернак.

НЕЛИНЕЙНОЕ ЗВЕНО (nonlinear element; élément non-linéaire; nichtlineares Glied) — часть структурной схемы САР, параметры к-рой (напр., коэфф. усиления, коэфф. демпфирования) зависят от значения входной или выходной координаты звена. Описывается нелинейным ур-нием. Примеры Н. з.: ламповый генератор, нелинейный мост, сервомотор пост. скорости, устройства, обладающие сухим трением, зазорами и т. д.

В автоматич. регулировании часто встречаются Н. з., имеющие типичные нелинейные хар-ки, к-рые могут включать в себя *зоны нечувствительности*, *зоны линейности*, *зоны неоднозначности*, *зоны насыщения*. На рис. приведены нек-рые типичные нелинейные хар-ки. Амплитудные фазовые частотные хар-ки Н. з. зависят в общем случае от амплитуды и частоты колебаний, поступающих на его вход. При воздействии гармоник. колебаний на выходе Н. з. сигнал будет содержать, помимо основной составляющей частоты ω, ряд высших гармоник с частотами 2ω, 3ω, 4ω и т. д., кратными основной гармонике. При расчете нелинейных САР *гармонического баланса методом* вводят понятие *адмитанц (импеданц) эквивалентный* Н. з.



В. И. Гуков.

НЕЛИНЕЙНОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ (nonlinear programming; programmation nonlinéaire; nichtlineare Programmierung) — теория и методы решения условных экстремальных задач, оптимизируемая ф-ция и (или) ограничения к-рых содержат нелинейные зависимости. Н. п. вместе с *линейным программированием* составляют *математическое программирование*. Н. п. является наиболее сложным и мало разработанным разделом математич. программирования.

Многие важные проблемы, возникающие в самых различных областях человеч. деятельности, сводятся к принятию решения (к выбору варианта), удовлетворяющего ряду ограничений, к-рые вытекают из существа задачи. При этом среди многих допустимых решений (реализуемых вариантов) необходимо сделать наилучший выбор в нек-ром заранее определ. смысле. Перевод на строгий математич. язык задачи принятия наилучшего решения складывается из следующих этапов:

1) выбирается система параметров (т.н. параметров управления), являющихся количеств. хар-кой конкретного решения (варианта);

2) выделяются осн. ограничения, к-рым должны подчиняться параметры, соответствующие реализуемым вариантам. Система выделенных ограничений представляется в виде набора равенств и (или) неравенств относительно параметров управления;

3) каждому реализуемому варианту приводится в соответствие число — количеств. хар-ка качества этого варианта (напр., затраты, сопутствующие принятому решению, или объем продукции, связанный с его реализацией). Другими словами, формируется ф-ция от параметров управления (т. н. целевая ф-ция задачи), характеризующая соответствие выбранного варианта поставленной цели. Из двух вариантов лучшим считается тот, к-рый соответствует меньшему (или большему в зависимости от постановки задачи) значению целевой ф-ции. Т. о., проблема выбора наилучшего решения из числа всех возможных решений требует вычисления системы параметров управления, обращающих в минимум (или в максимум) целевую ф-цию задачи при соблюдении всех ее условий.

В случае, если целевая ф-ция и (или) ограничения содержат нелинейные зависимости, описанная экстремальная задача является задачей Н. п.

Общая задача Н. п. формулируется следующим образом: минимизировать целевую ф-цию.

$$F(X)=F(x_1, x_2, \ldots, x_n) \qquad (1)$$

при условиях

$$g_i(X)=g_i(x_1, x_2, \ldots, x_n)\geqslant 0,\quad i=1, 2, \ldots, m_1; \qquad (2)$$

$$g_i(X)=g_i(x_1, x_2, \ldots, x_n)=0,\quad i=m_1+1, \ldots, m; \qquad (3)$$

$$x_j\geqslant 0,\quad j=1, 2, \ldots, n_1\leqslant n. \qquad (4)$$

Система аргументов $X=(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ ф-ции $F(X)$ является системой параметров управления. Ф-ция $F(X)$ — целевая ф-ция задачи, а условия (2) — (4) — ограничения задачи. Если ф-ция $F(X)$ выпукла, ф-ции — $g_i(X)$ выпуклы для $i=1,2,\ldots, m_1$ и линейны с точностью до пост. слагаемого для $i=m_1+1,\ldots,m$, то задача (1)—(4) является задачей *выпуклого программирования*. Точка $X=(x_1, x_2, \ldots, x_n)$, удовлетворяющая условиям (2)—(4), наз. планом задачи (1)—(4). План, на к-ром достигается минимум ф-ции (1),— решение задачи или ее оптим. план.

Многие важные проблемы, связанные с оптим. управлением и планированием, к-рые возникают в экономике, технике и военном деле, приводят к необходимости исследовать задачи типа (1)—(4) при большом числе переменных и ограничений. Ниже даны примеры практич. задач, сводящихся к модели Н. п.

1. Задача выбора рациональной системы допусков. Пусть нек-рый механизм состоит из n деталей, причем допуск на размеры i-й детали равен δ_i. Предельная ошибка механизма, возникающая вследствие имеющихся допусков на размеры деталей, зависит от того, в каком состоянии (рабочем положении) он находится в рассматриваемый момент. Предполагая непрерывную зависимость предельной ошибки механизма от его состояния, можно разбить весь диапазон работы механизма на конечное число (m) участков (состояний), в пределах каждого из к-рых предельная ошибка определяется только величинами δ_i. Предельная ошибка ζ_i механизма, находящегося в i-м состоянии, выражается через допуски отдельных деталей по ф-ле

$$\zeta_i=T_i(\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_n). \qquad (5)$$

В различных состояниях механизма требования к величинам предельных ошибок могут быть разными. Пусть s_i — верхняя граница для предельной ошибки механизма, находящегося в i-м состоянии.

Стоимость изготовления детали зависит от величины допуска на ее размеры: чем меньше допуск, тем выше стоимость. Примем стоимость изготовления j-й детали с допуском δ_j равной $\varphi_j(\delta_j)$. Система допусков $\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_n$ считается рациональной, если она обеспечивает требуемую точность механизма во всех диапазонах его работы при наименьшей общей стоимости механизма. Т. о., выбор рацион. системы допусков сводится к минимизации ф-ции

$$F(\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_n)=\sum_{j=1}^{n}\varphi_j(\delta_j) \qquad (6)$$

при ограничениях

$$T_i(\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_n)\leqslant s_i,\quad i=1, 2, \ldots, m. \qquad (7)$$

Получили задачу Н. п. с переменными $\delta_1, \delta_2, \ldots, \delta_n$.

2. Задача химического равновесия. Имеется газовая смесь, содержащая m различных элементов. Атомы элементов могут соединяться в молекулы n типов. Пусть b_i — число грамм-атомов ($г$-атом) i-го элемента; a_{ij} — число $г$-атомов i-го элемента в одной грамм-молекуле ($г$-молекула) j-го элемента соединения. Требуется определить количество $г$-молекул каждого соединения, к-рое образуется в смеси, находящейся в состоянии равновесия.

Пусть x_j — число $г$-молекул j-го соединения, образующегося в смеси. Искомые неизвестные x_j ($j=1, 2, \ldots, n$) должны подчиняться ур-ниям баланса масс

$$\sum_{j=1}^{n}a_{ij}x_j=b_i,\quad i=1, 2, \ldots, m; \qquad (8)$$

быть неотрицательными

$$x_j\geqslant 0,\quad j=1, 2, \ldots, n \qquad (9)$$

и при этом доставлять минимум общей свободной энергии (условие равновесия)

$$F(x_1, x_2, \ldots, x_n)=\sum_{j=1}^{n}c_jx_j+\sum_{j=1}^{n}x_j\log\frac{x_j}{\bar{x}}, \qquad (10)$$

где c_j — нек-рые постоянные; $\bar{x}=\sum_{j=1}^{n}x_j$. Итак, задача химич. равновесия сводится к минимизации нелинейной ф-ции (10) при линейных условиях (8) и (9). Получили задачу Н. п. Можно показать, что (10) — выпуклая ф-ция, т. е. (8)—(10) — задача выпуклого программирования.

Многие исследования в Н. п. опираются на т. н. необходимый признак оптимальности плана задачи. Пусть ф-ции $F(X)$ и $g_i(X)$, участвующие в формировании задачи (1)—(4), дифференцируемы и, кроме того, $g_i(X)$ для $i=1, 2,\ldots, m$ удовлетворяют нек-рым

дополнит. ограничениям — т. н. условиям Куна — Таккера (во всех практич. задачах эти условия выполняются).

Необходимый признак оптимальности. Если $X=(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ — решение задачи (1)—(4), то найдется такая система чисел (точка) $\Lambda=(\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_m)$, что

$$1)\ g_i(X)\geqslant 0,\quad i=1, 2, \ldots, m_1,$$
$$g_i(X)=0,\quad j=m_1+1, \ldots, m;$$
$$2)\ x_j\geqslant 0,\quad j=1, 2, \ldots, n_1;$$
$$3)\ \lambda_i\geqslant 0,\quad i=1, 2, \ldots, m_1;$$
$$4)\ \sum_{i=1}^{m} g_i(X)\lambda_i=0;$$
$$5)\ \frac{\partial \mathfrak{F}(X)}{\partial x_j}\geqslant 0,\quad j=1, 2, \ldots, n_1,$$
$$\frac{\partial \mathfrak{F}(X)}{\partial x_j}=0,\quad j=n_1+1, \ldots, n;$$
$$6)\ \sum_{j=1}^{n}\frac{\partial \mathfrak{F}(X)}{\partial x_j}x_j=0.$$

Здесь $\mathfrak{F}(X)=F(X)-\sum_{i=1}^{m}\lambda_i g_i(X)$ — ф-ция Лагранжа задачи (1)—(4). Приведенный признак является обобщением классич. метода Лагранжа, приспособленным к задачам Н. п. В общем случае условия 1)—6) не составляют достаточного признака оптимальности: из того, что пара точек (X, Λ) подчиняется требованиям 1) —6), вообще говоря, не следует оптимальность плана X. Однако эти условия сужают область возможных положений искомого решения и в ряде случаев облегчают поиск оптим. плана.

Для большого класса задач Н. п.— задач выпуклого программирования — выполнение условий 1) —6) оказывается не только необходимым, но и достаточным признаком оптимальности. Это обстоятельство и послужило причиной для выделения методов анализа задач отмеч. класса в особое направление Н. п. — выпуклое программирование. Все методы выпуклого программирования в той или иной степени основываются на достаточности условий 1)—6). Разработка методов числ. анализа задач Н. п., не укладывающихся в схему выпуклого программирования (невыпуклых задач), находится в зачаточном состоянии.

Несколько возможных подходов к решению невыпуклых задач Н. п.:

1. Совмещение методов выпуклого программирования со случайным поиском. В соответствии с особенностями задачи выбирается один из методов выпуклого программирования. Далее, исходя из нек-рой нач. пары точек (X_0, Λ_0), с помощью выбранного метода получают пару точек (X, Λ), удовлетворяющую условиям 1) —6) (критич. пару точек). Т. о., метод выпуклого программирования позволяет каждой нач. паре точек поставить в соответствии нек-рую критич. пару точек. Для выбора нач. пары точек применяют случайный поиск (см. *Монте-Карло метод*), статистич. хар-ки к-рого увязываются со спецификой исследуемой задачи. Выбирая случайным образом последовательность нач. пар точек и применяя метод выпуклого программирования, приходят к последовательности пар критич. точек (X_k, Λ_k) при $k=1, 2, \ldots, N$. В качестве решения задачи принимается точка X_s, для к-рой

$$F(X_s)=\min_{1\leqslant k\leqslant N} F(X_k).$$

Число N определяется из условий конкретной задачи.

2. Сведение к целочисленному линейному программированию. Многие невыпуклые задачи Н. п. могут быть сведены к задачам линейного программирования с дополнит. условием целочисленности их переменных. Анализ таких задач может осуществляться с помощью методов целочисл. линейного программирования (см. *Целочисленное программирование*).

3. Сведение к задаче о безусловном экстремуме. Общая задача Н. п. может быть аппроксимирована с любой наперед заданной степенью точности задачей минимизации некоторой нелинейной ф-ции без ограничений на ее переменные. Для решения последней задачи предложено несколько методов.

Овражный метод [1] приспособлен для минимизации нелинейных ф-ций многих переменных спец. типа. Предполагается, что переменные задачи могут быть разделены на две группы — существенные и несущественные. Изменение несуществ. переменных сильно влияет на значение минимизируемой ф-ции. В то же время эта ф-ция слабо зависит от существ. переменных, число к-рых предполагается небольшим. Т. о., поверхность минимизируемой ф-ции напоминает овраг — отсюда и название метода. Общая схема метода состоит в следующем. Вначале выбирается несколько нач. точек, из к-рых осуществляется спуск к критич. точкам. По полученным критич. точкам выбирается нек-рое направление (идущее по «дну оврага»). Вдоль выбранного направления производится сдвиг, величина к-рого определяется конкретной задачей. Новая точка, принятая за начало, приводит к следующей критич. точке. Затем по имеющимся критич. точкам выбирается новое направление и весь процесс повторяется. В ряде случаев рекомендуется выбирать сразу несколько направлений.

Метод тяжелого шарика. Пусть по поверхности, определяемой минимизируемой ф-цией, движется шарик с массой m, на к-рый действует лишь сила тяжести. Если величина m мала, то шарик остановится в ближайшем локальном минимуме поверхности (на этом принципе основан градиентный метод, в к-ром $m=0$). Увеличивая m, можно добиться, чтобы шарик проскакивал неглубокие минимумы по инерции и застревал только в тех минимумах, область притяжения к-рых достаточно велика. При рацион. выборе m шарик попадает в минимум, близкий к абсолютному. Метод тяжелого шарика — математич. реализация приведенной механич. модели.

Лит.: 1) Гельфанд И. М., Цейтлин М. Л., О некоторых способах управления сложными системами, «УМН», 1962, т. 17, в. 1, с. 3; 2) Kuhn H. W., Tucker A. W., Nonlinear programming, Proceedings of the second Berkeley symposium on mathematical statistics and probability, Berkeley and Los Angeles, 1951, p. 481—92. *Е. Г. Гольштейн.*

НЕЛИНЕЙНОСТЬ (nonlinearity; non-linéarité; Nichtlinearität) — свойство системы или элемента, вызывающее появление нелинейной зависимости их хар-к. Н. наз. несущественной, если хар-ка элемента линеаризуема в достаточно широком диапазоне (рис. 1), и существенной, если хар-ка элемента не может быть линеаризована без потери ее существ. особенностей (рис. 2). В САР встречаются

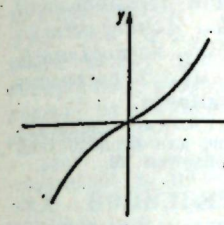


Рис. 1.

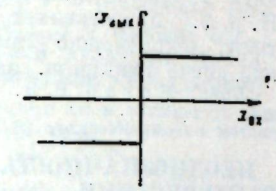


Рис. 2.

элементы с разнообразными существенно нелинейными хар-ками, но из всего многообразия их выделяют класс типичных Н. САР. К ним относятся релейные хар-ки, хар-ки с насыщением, зоной нечувствительности, гистерезисом и т. п. *Б. А. Власюк.*

НЕЛИНЕЙНОСТЬ ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ [complementary nonlinearity; non-linéarité complimentaire; zusätzliche Nichtlinearität] — нелинейность, специально вводимая в систему для улучшения ее динамич. свойств. Впервые была применена в виде квадратичной обратной связи для получения оптимального процесса в релейной системе 2-го порядка. В качестве Н. д. чаще всего применяются ф-ции $y=x^2$, $y=\ln x$, $y=e^x$, $y=\operatorname{Sign} x$ и их произведения, где x может быть регулируемой величиной, ее производной, линейной комбинацией регулируемой величины и ее производных либо любой др. промежуточной координатой системы.

Применение Н. д. особенно эффективно при относительно больших отклонениях регулируемой величины от заданного значения.

Лит.: Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; Лернер А. Я., Введение в теорию автоматического регулирования, М., 1958. *В. Ю. Рутковский.*

НЕЛИНЕЙНЫЕ ИСКАЖЕНИЯ (nonlinear distortions; distortions non-linéaires; nichtlineare Verzerrungen) — искажения сигнала, сопровождающиеся появлением в его спектре новых гармонич. составляющих. Н. и. имеют место в нелинейных системах. В нелинейных электрич. цепях (системах) Н. и. вызваны тем, что зависимость между токами и напряжениями в таких цепях не подчиняется закону Ома, а более сложна (нелинейна). Примером Н. и. электрич. сигнала может служить изменение формы анодного тока электронной лампы по сравнению с формой поданного на ее вход напряжения. Зависимость анодного тока I_a лампы от приложенного к ней напряжения сетка — катод U_c на ограниченном рабочем участке может быть представлена аналитически, напр. полиномом (аппроксимация вольт-амперной хар-ки). Н. и. возникают, если в аппроксимирующем полиноме имеются члены, содержащие U_c в степени выше первой. Так, если $I_a=\alpha U_c^2$, то при $U_c=U_{co}+U_{cm}\sin\omega t$,

$$I_a=\alpha\left(U_{co}^2+\frac{U_{cm}^2}{2}\right)+2\alpha U_{co}U_{cm}\sin\omega t-$$
$$-\frac{\alpha}{2}U_{cm}^2\cos 2\omega t.$$

Н. и. состоят в том, что в спектре колебаний тока I_a появилась составляющая с частотой

2ω, не содержавшаяся в спектре колебаний U_c, а также в приращении пост. составляющей тока $\alpha\frac{U_{cm}^2}{2}$. Приведенный пример показывает, что величина Н. и. зависит от амплитуды сигнала U_{cm}.

Если входное напряжение содержит 2 сигнала разных частот, то $U_c=U_{c_0}+U_{c_1}\sin\omega_1 t+U_{c_2}\sin\omega_2 t$, то

$$I_a=\alpha\left(U_{c_0}^2+\frac{1}{2}U_{c_1}^2+\frac{1}{2}U_{c_2}^2\right)+$$
$$+2\alpha U_{c_0}U_{c_1}\sin\omega_1 t+2\alpha U_{c_0}U_{c_2}\sin\omega_2 t-$$
$$-\frac{\alpha}{2}U_{c_1}^2\cos 2\omega_1 t-\frac{\alpha}{2}U_{c_2}^2\cos 2\omega_2 t+$$
$$+\alpha U_{c_1}U_{c_2}\cos(\omega_2-\omega_1)t-\alpha U_{c_1}U_{c_2}\cos(\omega_2+\omega_1)t.$$

На этот раз, кроме Н. и., отмеченных ранее, появляются т. н. токи комбинационных частот, суммарной частоты $\omega_2+\omega_1$ и разностной $\omega_2-\omega_1$. Колебаний этих частот во входном сигнале не содержится.

Величина Н. и. зависит от амплитуды сигнала. В усилителях электрич. колебаний Н. и. должны быть минимальными. Величина их в этом случае количественно оценивается коэфф. нелинейных искажений или *клирфактором*. С др. стороны, работа нек-рых систем основана на использовании Н. и. сигнала, напр. детектирование, модуляция, нек-рые частотные преобразования электрич. сигналов по своей физич. природе являются Н. и. этих сигналов.

Н. и. возникают также и в электрич. приборах. Напр., при сильных токах в звуковой катушке электродинамич. громкоговорителя (динамика) последняя перемещается в области, где магнитное поле весьма неоднородно. В результате нарушается линейная зависимость между током в звуковой катушке динамика и ее смещением из положения равновесия. Это — одна из причин Н. и. при воспроизведении динамиком электрич. сигналов.

Лит.: Сифоров В. И., Радиоприемные устройства, 5 изд., М., 1954; Ассеев Б. П., Основы радиотехники, М., 1947; Гоноровский И. С., Основы радиотехники, М., 1957; Ицхоки Я. С., Нелинейная радиотехника, М., 1955. *Л. Н. Капцов.*

НЕЛИНЕЙНЫЕ ЭФФЕКТЫ В АКУСТИЧЕСКОМ ПОЛЕ (nonlinear effects in acoustical field; effets acoustiques non-linéaires; nichtlineare Erscheinungen im akustischen Feld). Распространение звуковых волн, как и всякое движение сплошной среды, описывается ур-ниями гидродинамики и ур-нием состояния. Эти ур-ния нелинейны, и их интегрирование затруднительно. Задача упрощается, если амплитуда колебат. движения среды невелика (обычно в акустике), и можно пользоваться приближ. ур-ниями, полученными линеаризацией исходных выражений. Однако для описания нек-рых эффектов это приближение (приближение линейной акустики) оказывается недостаточным и необходим учет нелинейных членов ур-ний. Такие эффекты наз. нелинейными. К их числу относятся изменение формы волны большой интенсивности при ее распространении и вызванный этим рост ее поглощения, *давление звукового поля*, *звуковой ветер*, рассеяние звука звуком, *кавитация ультразвуковая* и др.

Изменение формы волны при распространении происходит из-за того, что точки ее профиля, соответствующие сжатию, движутся

быстрее точек, соответствующих разрежению, вследствие зависимости скорости звука от плотности среды, а также из-за увлечения волны средой, к-рая в фазе сжатия движется в направлении волны, а в фазе разрежения — в обратном направлении. Эта разница существенна только в случае волн большой интенсивности (наз. еще волнами конечной амплитуды); эффект изменения формы волны может привести к переходу первоначально синусоидальной волны в периодич. ударную волну пилообразной формы. Со спектральной точки зрения явление изменения формы волны можно рассматривать как процесс нарастания ВЧ гармоник в первоначально монохроматич. волне. Изменение формы волны и образование периодич. слабой ударной волны сопровождаются ростом поглощения. Коэфф. поглощения пилообразной волны растет пропорционально ее амплитуде. Это приводит к явлению своеобразного насыщения: при увеличении интенсивности излучаемого звука интенсивность в любой точке поля растет все медленнее, асимптотически приближаясь к нек-рому предельному значению. Зависимость поглощения от амплитуды волны может заметно проявиться при работе мощных УЗ концентраторов, приводя к снижению коэфф. усиления таких систем.

Типично нелинейным эффектом является также рассеяние звука, проявляющееся, в частности, в том, что при одновременном распространении двух звуковых волн разных частот в результате их взаимодействия образуются комбинац. тона́, т. е. волны с частотами, равными сумме и разности частот исходных волн.

Лит.: Зарембо Л. К., Красильников В. А., Некоторые вопросы распространения ультразвуковых волн конечной амплитуды в жидкостях, «УФН», 1959, т. 68, вып. 4, с. 687—715; Лэмб Г., Динамическая теория звука, пер. с англ., М., 1960, § 63; Стретт Дж. В. (лорд Рэлей), Теория звука, пер. с англ., т. 2, 2 изд., М., 1955, § 253а; Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М., Механика сплошных сред, 2 изд., М., 1954, § 64.

К. А. Наугольных.

НЕЛИНЕЙНЫЙ РЕШАЮЩИЙ ЭЛЕМЕНТ АВМ (nonlinear function generator; élément de calcul non-linéaire; nichtlineares Lösungselement) — часть схемы блока машины, предназнач. для образования тока, величина к-рого пропорциональна заданной ф-ции от входного напряжения. При включении Н. р. э. во входную цепь или цепь обратной связи операц. усилителя на выходе этого усилителя образуется напряжение, пропорциональное требуемой функцион. зависимости. Так, при включении Н. р. э., обладающего квадратичной зависимостью тока от величины входного напряжения, во входную цепь операц. усилителя выходное напряжение последнего будет пропорционально квадрату входного напряжения, а при включении этого же Н. р. э. в цепь обратной связи усилителя — квадратному корню от величины входного напряжения.

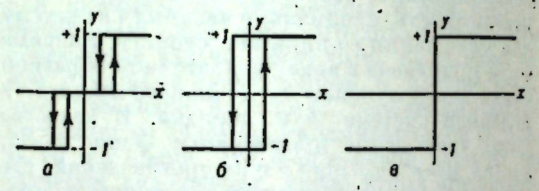
Простейшей схемой Н. р. э. является диодный элемент, используемый при построении схем более сложных блоков, реализующих метод кусочно-линейной аппроксимации заданных функцион. нелинейных зависимостей.

Пром. АВМ содержат два типа Н. р. э. — общего назначения и специализированные. В первых вид функцион. зависимости, подлежащей воспроизведению, может изменяться при перестройке элемента оператором машины с помощью специальной аппаратуры. Специализир. Н. р. э. не предусматривают перестройки и выполняются для образования синусной, косинусной, квадратичной и т. п. зависимостей, а также для операции перемножения двух входных напряжений. Конструктивно Н. р. э. представляет собой легкосъемные узлы, подлежащие замене при перестройке или смене функцион. зависимости.

Лит.: Коган Б. Я., Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования, М., 1959.

И. М. Витенберг.

НЕОДНОЗНАЧНОСТЬ РЕЛЕЙНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ (switching characteristic polyvalence; polyvalence de la caractéristique de relais; Vieldeutigkeit der Relaischarakteristik) — свойство релейной хар-ки, заключающееся в том, что выходная координата реле может принимать в нек-ром диапазоне изменения входной величины x либо два значения в зависимости от предыстории движения, либо любое значение в нек-ром диапазоне изменения y при одном значении x. В первом случае релейная хар-ка (напр., поляризованного



реле) имеет вид, изображенный на рис. *а* и *б*. Знак скорости $\dot{x}$ доопределяет значение y в *зоне неоднозначности*. Однако в сложных САР существуют движения, когда по знаку $\dot{x}$ нельзя определить значение y, т. е. подобная релейная хар-ка не может быть однозначно определена как ф-ция x или $\dot{x}$. Для второго случая идеализиров. хар-ка показана на рис. *в* (напр., сухого трения). Момент трения зависит от знака $\dot{x}$ и при $x=0$ может принимать любое значение от $+1$ до -1.

В. Ю. Рутковский.

НЕОСНОВНЫЕ НОСИТЕЛИ ЗАРЯДА (auxiliary charge carriers; porteurs de charge auxiliaires; Neben-Ladungsträger) — см. *Электропроводность полупроводника.*

НЕПЕР (neper; néper; Neper) — см. *Логарифмические единицы усиления и ослабления.*

НЕПРЕРЫВНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ (continuous dependence; dépendance continue; kontinuierliche Abhängigkeit) — зависимость между двумя величинами x и y, когда малому изменению первой величины соответствует малое изменение второй. Или иначе, Н. з. — зависимость, к-рая задается непрерывной ф-цией f: $y=f(x)$. Ф-ция $f(x)$ наз. непрерывной в точке x_0, если для всякого $\varepsilon>0$ найдется $\delta>0$, такое, что $|f(x_1)-f(x_0)|<\varepsilon$ для всех x_1, удовлетворяющих условию $|x_1-x_0|<\delta$. Ф-ция $f(x)$ наз. непрерывной на отрезке, если она непрерывна в каждой точке этого отрезка. Непрерывная ф-ция обладает св-вом:

$$\lim_{x\to x_0} f(x)=f(x_0).$$

Л. Чураева.

НЕПРЕРЫВНЫЙ СИГНАЛ (continuous signal; signal continu; kontinuierliches Signal) — сигнал, воспроизводящий (в отличие от *дискретного сигнала*) все мгновенные значения

физ. величины. Математически описывается ф-цией непрерывного аргумента (вообще говоря, не обязательно непрерывного).

Р. С. Рутман.

НЕРАВНОМЕРНОСТИ СТЕПЕНЬ (degree of irregularity; degré d'irregularité; Ungleichförmigkeitsgrad) — *неравномерности коэффициент* — отношение разности между макс. ($x_{макс}$) и миним. ($x_{мин}$) значениями регулируемой величины, возникающей от изменения нагрузки, к ее заданному значению x_0:

$$\delta=\frac{x_{макс}-x_{мин}}{x_0}.$$

В статич. системе регулирования в качестве заданного значения регулируемой величины принимается ее среднее значение $x_0=\frac{x_{макс}+x_{мин}}{2}$.

По величине Н. с. можно судить о влиянии изменения величины нагрузки на статич. точность процесса регулирования. Графически эту зависимость можно представить кривой $x=f(Q)$ (рис.), где Q — величина нагрузки. При заданном диапазоне изменения нагрузки $Q_{мин}-Q_{макс}$ Н. с. будет уменьшаться с увеличением коэфф. усиления регулятора, величина к-рого ограничена динамич. хар-ками системы (регулятор—объект регулирования). Эти ограничения возникают из-за необходимости обеспечить заданные показатели процесса регулирования.



Лит.: Айзерман М. А., Лекции по теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1958.

С. Н. Дилигенский.

НЕРВНЫЕ СЕТИ, нейронные сети (nerve networks; réseau de nerfs; Nervennetze), — совокупность нейронов естественных или искусственных, связанных между собой путями, передающими информацию о их состоянии.

Морфологич. исследования нервной системы в целом и в частности гистологич. исследования нервной ткани коры головного мозга показали, что основу ее структуры составляют Н. с., функционирование которых приближенно описывается следующим образом.

Сигналы, поступающие из окружающей среды, воздействуют на чувствит. элементы — рецепторы. Возбуждение рецепторов передается по ответвлениям, отходящим от нервных клеток (нейронов), др. нервным клеткам, к-рые при выполнении определ. условий способны в свою очередь возбуждаться и передавать сигналы о возбуждении новым нейронам. В зависимости от характера внешних сигналов, связей между нейронами и состояний промежуточных нейронов могут возбуждаться те или иные выходные (эффекторные) нейроны, управляющие соответствующими реакциями (напр., двигательными) организма. Функционирование такой Н. с. определяется числом и характером связей между нейронами, а также видом входных сигналов. Отвлекаясь от чисто биологич. структуры, приближ. можно считать, что каждый отдельный нейрон подчиняется принципу «все или ничего» и может находиться только в двух состояниях — возбужденном и невозбужденном и что состояние нейрона определяется только сочетанием сигналов, поступающих на его входы (синапсы) от др. нейронов.

Используя это св-во нейрона и абстрагируясь от его др. чисто физиологич. особенностей, амер. ученые У. Мак-Каллок и У. Питс [1] в 1943 создали абстрактную модель нейронов — формальный нейрон (см. *Нейронов модель*), и положили начало изучению сетей, образованных формальными нейронами и их соединениями.

Формальные нейроны определялись следующими физич. допущениями: 1) активность нейрона, т. е. его выходной сигнал, подчиняется принципу «все или ничего»; 2) возбуждению нейрона должен предшествовать некоторый латентный период накопления возбуждений от фиксиров. числа синапсов (входов). Это число не зависит от предыдущей активности и от расположения синапсов в нейроне; 3) единственным запаздыванием в системе является синаптич. задержка; 4) возбуждение тормозящего синапса абсолютно исключает возбуждение данного нейрона в рассматриваемый момент времени; 5) с течением времени структура сети не изменяется.

Введение понятия формальный нейрон позволило применить к изучению поведения Н. с. аппарат *логики математической* и доказать ряд фундамент. теорем, определив классы событий, представимых такими сетями, и, в частности, показать, что всякая сеть, снабженная соответствующими дополнениями, не превосходит по своим возможностям *Тьюринга машину*.

Дальнейшие исследования Н. с. амер. ученого С. К. Клини, сов. ученого Ю. Т. Медведева [1] и др. несколько изменили понятие формальный нейрон: тормозящий синапс перестал играть абс. роль. Нейрон возбуждается, если разность активных возбуждающих и тормозящих синапсов превосходит нек-рое число, наз. порогом возбуждения. Так, в формализованной схеме (рис. 1) нейрон возбуждается, если $n_в-n_т\geqslant 2$, где $n_в$ и $n_т$ — соответственно числа активизир. возбуждающих и тормозящих синапсов.



Рис. 1. Формализованная схема нейрона; точками обозначены возбуждающие синапсы, кружками — тормозящие, цифра внутри клетки характеризует порог возбуждения.

На рис. 2 схематично показан участок Н. с., состоящий из формальных нейронов. Исследования возможностей Н. с., их функционирования, событий, представляемых ими, привело к возникновению спец. направления в логике математической — к теории *конечных автоматов* (см. также *Автоматов теория*), включающей в себя теорию Н. с.

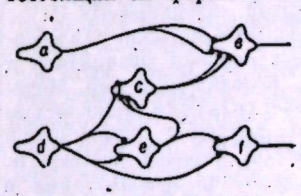


Рис. 2. Схема нейронной сети из формальных нейронов У. Мак-Каллока и У. Питса; *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, *f* — нейроны.

Теория Н. с., являясь частным случаем теории конечных автоматов, имеет, однако, и самостоят. значение. Одной из важнейших задач, стоящих перед теорией Н. с., является синтез Н. с., моделирующих с макс. точностью

естественные Н. с. и их различные ф-ции.

Описанная выше схема формального нейрона, сыгравшая большую роль в создании теории Н. с., не соответствует полностью схеме реального нейрона. Поэтому при моделировании Н. с. пользуются большим числом разнообразных типов нейронов моделей, отличающихся различными степенями приближения к реальным нейронам и различными способами их физич. реализации.

Примерами таких моделей нейронов и сетей, построенных из них, являются многочисл. схемы распознающих устройств — персептронов, представляющих собой одну из разновидностей электронных моделей Н. с., различные электронные модели нейронов, *нейристоры*, адалины и т. п. (см. *Бионика*, *Узнающие машины*).

С т. зр. логич. структуры интерес представляет введение тормозящих синапсов с избират. действием, к-рые способны затормозить действие одного определ. входа (возбуждающего синапса) [3]. Др. разновидностью модели является модель пластич. нейрона, предложенная Д. Виллисом (1959) и способная изменять свои логич. свойства в зависимости от характера функционирования.

Необходимо отметить также фундамент. результаты, полученные советским ученым Ю. П. Офманом под руководством А. Н. Колмогорова, дающие метод построения наиболее экономных Н. с., обеспечивающих возможность одновременной и независимой связи двух различных групп нейронов, при к-рой каждый нейрон одной группы может быть связан с любым нейроном др. группы. Одновременно показано, что любую Н. с. (двоичный автомат) из n элементов можно смоделировать на нек-ром универс. двоичном автомате, число элементов к-рого n' ограничено следующим соотношением: $n' \leqslant c_1 n \log n$, где c_1 — нек-рая константа.

Несмотря на наличие содержат. результатов, полученных при исследовании, Н. с. изучены еще сравнительно слабо, особенно мало — Н. с. со структурой, изменяющейся во времени. В последние годы экспериментально показано, что в процессе развития нервной ткани коллатерали аксона растут, устанавливая синаптич. связи попеременно с различными нейронами. Можно ожидать, что классы событий, представимых подобными изменяющимися во времени Н. с., окажутся еще более широкими.

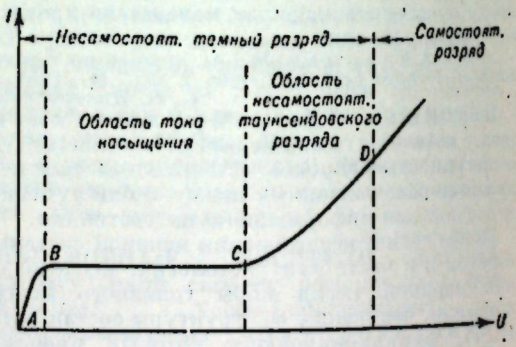
Кроме математич. проблем, связанных с изучением классов событий, представимых Н. с., теория Н. с. имеет большое значение для моделирования отдельных нервных механизмов и изучения на получ. моделях их ф-ций. Моделирование Н. с. может оказаться также весьма плодотворным при изучении особенностей морфологич. структуры нервной системы и, в частности, при изучении используемых в природе принципов построения сложных логич. систем, обладающих высокой надежностью и способных приспосабливаться к изменениям внешних условий.

Лит.: 1) Автоматы. Сб. ст., под ред. К. Э. Шеннона и Дж. Маккарти, пер. с англ., М., 1956; 2) Брайнес С. Н., Напалков А. В. и Свечинский В. Б., Нейрокибернетика, М., 1962; 3) Blum M., Properties of neuron with many inputs, в кн.: Principles of self-organisation. Transactions of the University of Illinois symposium on self-organisation, Robert Allerton park 8—9 June 1961, Oxf. [a. o.], 1962; 4) Harmon L. D., Levinson J., Van Bergeijk W. A., Analog models of neural mechanisms, «IRE Trans. Inform. Theory», 1962, v. 8, № 2, p. 107—12; 5) Brain A. E., Simulation of neural elements by electrical networks based on multi-aperture magnetic cores, «Pros. IRE», 1961, v. 49, № 1, p. 49—52; 6) McCulloch W. S., The reliability of biological systems, в кн.: International tracts in computer science and technology and their application, v. 2, N. Y. [a. o.], 1960, p. 246—81.

М. Г. Гаазе-Рапопорт.

НЕСАМОСТОЯТЕЛЬНЫЙ РАЗРЯД (non-independent discharge; décharge non-autonome; unselbständige Entladung) — электрич. *разряд в газе*, поддерживаемый посторонним, независимым от разряда понизатором. Таким понизатором могут быть радиоактивные, космические, рентгеновские лучи, световое излучение в видимой, УФ и ИК частях спектра, а также термоэлектронная эмиссия с электродов и т. п. В зависимости от условий, в к-рых протекает разряд, а также от параметров разрядной цепи различают два вида Н. р.: *темный разряд* и несамостоят. *дуговой разряд*. Первый может существовать не только как стационарный разряд, но и являться переходным к самостоят. разряду. Наибольший практич. интерес имеют стационарные формы Н. р., широко используемые в *ионных приборах*. Значения токов, при к-рых возможны стационарные формы темного разряда, обычно не превышают 10^{-6}—10^{-5} *а*. При бо́льших токах происходит переход к самостоят. разряду. Характерная особенность процессов в темном разряде — почти полное отсутствие влияния положит. пространств. заряда на хар-ки разряда.

Вольтамперная хар-ка Н. р. (рис.) имеет три резко выраж. участка: 1) AB — ток растет



Вольтамперная хар-ка несамостоятельного разряда.

примерно пропорционально прилож. к разрядному промежутку напряжению, 2) BC — ток почти не зависит от напряжения и 3) CD — снова наблюдается значит. зависимость разрядного тока от напряжения.

При небольшом напряжении между электродами (участок AB) не все заряды, образовавшиеся под воздействием понизатора, достигают электродов. Бо́льшая часть их рекомбинирует при столкновениях с заряж. частицами противоположного знака и нейтрализуется на стенках и электродах. Здесь *ионизация* газа происходит только внешним понизатором. При повышении напряжения между электродами все бо́льшая часть зарядов начинает участвовать в перенесении тока, а количество рекомбинирующих зарядов постепенно уменьшается. При нек-ром напряжении практически все носители тока увлекаются на электроды, а число рекомбинаций снижается почти до нуля. Дальнейшее повышение напряжения между электродами не может вызвать увеличения тока во внешней цепи. Этому значению тока (ток насыщения) соответствует участок BC. Ток разряда в этой области пропорционален интенсивности понизирующих частиц. Выражения, описывающие нач. участок AB и участок насыщения BC хар-ки Н. р., имеют вид для участка AB:

$$j = e(b^+ + b^-)\sqrt{\frac{1}{\varrho}\frac{dN}{dt}}E,$$

т.е. ток пропорционален напряженности поля; для участка CD:

$$j = ed\frac{dN}{dt},$$

где j — плотность тока разряда, $e = 1{,}6 \times 10^{-19}$ *к* — заряд электрона, b^+ и b^- — подвижности положит. и отрицат. зарядов, ϱ — коэфф. рекомбинации, d — расстояние между электродами, E — напряженность поля, $\frac{dN}{dt}$ — скорость образования зарядов в единице объема.

Несмотря на то, что увеличение напряжения между электродами в пределах области насыщения BC не вызывает увеличения тока, оно приводит к росту скорости и кинетич. энергии электронов. В результате при определ. напряжении энергия электронов становится достаточной для того, чтобы вызвать ударную лавинную понизацию газа и привести к новому возрастанию разрядного тока (CD). Вид разряда, соответствующий участку CD, наз. несамостоят. таунсендовским разрядом. Плотность тока j в таунсендовском разряде в общем случае имеет вид: $j = j_0 e^{\int_0^d \alpha dx}$, где j_0 — плотность тока с катода, вызванного внешним понизатором, d — расстояние между электродами, α — коэфф. ударной понизации, т. е. число понов, образуемых одним электроном на пути в 1 *см*, x — расстояние от катода. Если искажение поля пространств. зарядами невелико, т. е. поле однородно, а электроды плоские, то α — пост. величина, и плотность разрядного тока $j = j_0 e^{\alpha d}$. Множитель $e^{\alpha d}$ — коэфф. газового усиления тока; его величина может в ряде случаев превосходить 10^7.

Коэфф. α является ф-цией рода газа, давления p и напряженности поля E:

$$\alpha = Ape^{-\frac{B}{E/p}},$$

где A и B — постоянные, зависящие от рода газа. При нек-ром значении E/p величина α оказывается наибольшей, а следовательно, макс. величину имеет и коэфф. газового усиления. Это значение E/p постоянно для данного газа и наз. константой Столетова.

Создание в разрядном промежутке еще более высоких напряженностей поля вызывает возникновение т. н. гамма-процессов, т. е. эмиссию электронов с катода под воздействием ионной бомбардировки катода, излучения разряда или др причин, обусловл. разрядом. В этом случае плотность разрядного тока

$$j = j_0 \frac{e^{\alpha d}}{1 - \gamma(e^{\alpha d} - 1)},$$

где γ — коэфф., численно равный числу электронов, эмиттированных катодом, приходящихся на один положит. ион, попавший на катод. При большой интенсивности гамма-процессов Н. р. переходит в самостоятельный, причем условием перехода является равенство знаменателя нулю. Темный разряд нашел широкое применение в счетчиках излучений и газонаполненных фотоэлементах. Возникновение и поддержание несамостоят. дугового разряда обусловлены наличием термоэлектронной эмиссии накаливаемого катода, создающей в разряде нач. поток электронов, к-рый затем под воздействием электрич. поля вызывает лавинную понизацию газа. Этот вид Н. р. отличается большими плотностями разрядного тока (от десятых долей до десятков ампер на 1 *см*^{2}). Несамостоят. дуговой разряд представляет собой принцип. основу работы таких ионных приборов, как *газотроны*, а также *тиратроны дугового разряда* и их разновидности (тиратроны импульсные, плазматроны, таситроны).

Лит.: Энгель А. и Штенбек М., Физика и техника электрического разряда в газах, пер. с нем., т. 2, М.—Л., 1936; Грановский В. Л., Электроника, ч. 1—2, М., 1960; Каццов Н. А., Электрические явления в газах и вакууме, 2 изд., М.—Л., 1950; Энгель А., Ионизованные газы, пер. с англ., М., 1959.

О. А. Гриневская.

НЕСТАЦИОНАРНЫЙ ПРОЦЕСС (nonstationary process; processus non-stationaire; nichtstationärer Prozeß, nichtstationärer Vorgang) — см. *Переходный процесс*.

НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПОЛЕЙ КОНТРОЛЬ (nonstationary field checking; controle de champs non-stationaires; Kontroll nichtstationärer Felder) — контроль состояния нестационарного параметрического поля, т. е. совокупности точек пространства, в каждой из к-рых контролируемый параметр может принимать любое значение во времени. Параметры в рядом расположенных группах точек поля могут быть связаны определ. зависимостями. Параметрич. поле (напр., поле температур, давлений, скоростей и др.) контролируется последоват. «просмотром» значений параметров во всех точках поля (т. е. сканированием поля), для чего в ряде случаев необходим автоматич. контроль (АК). Просмотр может быть осуществлен 2 способами: 1) с помощью сканирующего луча (оптич., ультразвукового и др.), связывающего сканируемый участок поля с чувствит. элементом системы; 2) с помощью комплекса распределенных точечных датчиков, опрашиваемых в определенной последовательности системой АК. Системы АК нестационарных полей могут быть поисковыми и следящими. Задача первых — поиск зон поля, параметры к-рых имеют определенное значение. Задача вторых — слежение за перемещением таких зон поля. Часто обе задачи выполняются одной комбинированной системой. В поисковых сканирующих системах на выходном блоке, как правило, синтезируется изображение контролируемого поля.

Поисковые сканирующие системы разделяются на системы с функцион. преобразованием изображения и без него (телевизионные системы).

Сканирующая система, функционально преобразующая изображение, обычно состоит из 3 основных блоков: анализирующего блока, к-рый сканирует поле; блока, преобразующего сигнал, и синтезирующего блока, формирующего новое (преобразованное) изображение.

Изображение воспринимается либо оператором, либо блоком, способным распознавать

и классифицировать изображения и принимать в зависимости от их вида решения о воздействии на контролируемое поле.

В поисковых сканирующих системах контролируется весь комплекс событий в поле и после обработки определяется информация об общем состоянии объекта, представляемая затем воспроизводящим устройством. Рационально выбранное функцион. преобразование изображения поля позволяет выделять из него те элементы, к-рые содержат наибольшую информацию об интересующих нас свойствах поля. При этом возникают новые возможности наблюдения за общим состоянием объекта по соответствию или отличию преобразованной картины поля заданной картине (напр., по форме и размеру изопараметрич. линии поля, или зоны поля, имеющей заданную величину параметра). Преобразование информации о состоянии поля должно обеспечивать наилучшее ее усвоение оператором или блоком, распознающим синтезируемое изображение. При этом должна быть отброшена «избыточная» информация, затрудняющая анализ состояния поля. При функц. преобразовании изображения поля могут быть определены: зоны поля, в к-рых параметр превышает заданный уровень; эквипараметрич. линии поля; зоны поля, в к-рых параметрич. рельеф изменяется во времени наиболее динамично, и др. Состояние поля может контролироваться по форме, размерам и геометрич. расположению элементов преобразованного изображения поля.

Рациональное построение следящих сканирующих систем сводится в основном к выбору принципа действия сканирующего следящего звена системы и к расчету параметров *следящей системы*. Учет статистич. свойств поля позволяет значительно повысить информационные возможности поисковых систем.

При наличии у поля определенной вероятностной хар-ки применение «равноплотного» сканирования нерационально. Желателен такой тип сканирования, к-рый позволяет получать наибольшее количество информации о состоянии поля. Параметрич. поля по статистич. свойствам можно разделить на поля, в к-рых вероятность возникновения определ. события в нек-рый момент времени одинакова во всех точках поля, и поля, в к-рых есть определ. закономерность вероятности возникновения тех или иных событий в различных областях поля. Если задана закономерность вероятности возникновения опасных зон на поле, то сканирующая система должна иметь такую траекторию просмотра поля, к-рая подробнее сканирует те области поля, где вероятность возникновения опасных значений параметра больше. В зависимости от задачи системы Н. п. к. могут существенно изменяться критерии оптимальности сканирования, а следовательно, и принципы рацион. построения системы АК. В ряде случаев желательно определять оптимальную траекторию сканирования с учетом статистич. свойств осесимметричного поля, исходя из получения макс. общей вероятности обнаружения зоны заданной величины параметра.

Лит.: Темников Ф. Е., Автоматические регистрирующие приборы, 2 изд., М., 1960; Катыс Г. П., Автоматический контроль нестационарных параметров и параметрических полей, М., 1962; его же, Некоторые вопросы автоматического контроля нестационарных полей, М., 1960; его же, Методы и системы автоматического контроля нестационарных параметров и полей, М., 1963. *Г. П. Катыс.*

НЕСУЩАЯ ЧАСТОТА (carrier frequency; frequence de porteuse; Trägerfrequenz) — частота гармонич. колебаний, подвергающихся модуляции информационными сигналами для передачи сообщения. В передаче сигналов всегда принимает участие нек-рый физич. агент (электрич. ток, электромагнитное поле), переносящий передаваемую информацию. На передающем конце радиолинии на переносчик оказывают воздействие (модуляцию), изменяющее в соответствии с передаваемым сообщением тот или иной параметр переносчика. Изменяемые по закону передаваемого сообщения параметры колебаний Н. ч. — амплитуда, частота или фаза — могут рассматриваться как медленные функции времени по сравнению с периодом Н. ч., т. е. спектр модулирующего сигнала группируется в области низких (по сравнению с Н. ч.) частот.

Лит.: Харкевич А. А., Спектры и анализ, 3 изд., М., 1957. *П. А. Стрельцов.*

НЕУСТАНОВИВШИЙСЯ РЕЖИМ (unsettled conditions; régime non-établi; nichtstationärer Betrieb; Übergangsbetrieb) — режим САР, в к-ром постоянно нарушается требуемая функциональная зависимость между управляющими и регулируемыми переменными. Н. р. возникают, когда воздействия представляют собой непрерывно и быстро изменяющиеся ф-ции времени, напр. воздействия, содержащие помехи и шумы. Эти воздействия при анализе не могут быть заменены типовым воздействием в виде заданной ф-ции времени и в то же время от них существенным образом зависит общая величина ошибки системы. В Н. р. такие показатели качества, как время переходного процесса, статич. отклонение, число колебаний на интервале установления, а также перерегулирование, теряют смысл; сохраняет значение лишь макс. отклонение регулируемой переменной $x_{макс}$, характеризующее динамич. точность САР в Н. р. Следует отметить, что вследствие трудности оценки мгновенных макс. значений регулируемой переменной, к-рые часто недостаточны для хар-ки работы системы при непрерывно изменяющихся случайных воздействиях, при исследовании Н. р. обычно вводят в рассмотрение нек-рые статистич. хар-ки от $x(t)$, определяющие динамич. точность системы на заданных интервалах времени. Примером такого рода показателей качества могут служить среднеквадратич. или средние значения отклонений регулируемой переменной, или ошибки.

Лит.: Основы автоматического регулирования, Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954. *Б. А. Власюк.*

НЕУСТОЙЧИВОЕ СОСТОЯНИЕ ВНУТРЕННЕЕ (релейного устройства) [unstable internal state (of a switching system); état intérieur instable (d'un système de relais); innerer unstabiler Zustand (eines Geräts mit Relais)] — состояние, которое изменяется при неизменяющихся входных воздействиях. Например, состояние релейного элемента «или» при входах $x_1=0$, $x_2=0$ и выходе $y=0$ является устойчивым. Если в момент t один из входов изменится, то выход должен измениться с 0 на 1. Однако это произойдет не сразу, а с нек-рой задержкой τ (задержкой срабатывания, величина к-рой зависит от физич. свойств элемента). Между моментами t и $t+\tau$ элемент будет находиться в Н. с. в., так как оно изменится в момент $t+\tau$ без дополнит. изменения входов. В целом процесс изменения выхода элемента (или устройства) в результате изменения входа выглядит так: сначала изменяется входное воздействие, и элемент (или устройство) переходит в Н. с. в.; затем через некоторое время появляется выход, соответствующий новому входному воздействию, и наступает устойчивое состояние.

Релейное устройство находится в Н. с. в., когда хотя бы один из его внутр. элементов пребывает в Н. с. в. В *релейных устройствах многотактных* изменение выхода промежуточного элемента может привести к изменению состояний цепей, воздействующих на др. промежуточные элементы, и тогда устройство перейдет в другое Н. с. в. Поэтому изменение входа в многотактных устройствах, в ряде случаев, вызывает последовательность Н. с. в., к-рая либо заканчивается устойчивым состоянием, либо представляет собой циклич. последовательность, продолжающуюся до тех пор, пока не наступит очередное изменение входа. При этом наличие Н. с. в. одновременно у неск. элементов может вызвать нарушение правильной работы устройства (см. *Релейных элементов состязание*). *О. П. Кузнецов.*

НЕУСТОЙЧИВОСТЬ (instability; instabilité; Unstabilität) — свойство динамической системы, заключающееся в том, что после сколь угодно малого возмущения в системе никогда не наступит состояние, в котором система находилась до приложения возмущения. *Б. А. Власюк.*

НЕФЕЛОМЕТР (nephelometer; néphélomètre; Trübungsmesser) — прибор для определения мутности неоднородной среды (дисперсности и концентрации частиц) по рассеянию света в ней, определяемому измерением: а) уменьшения интенсивности первичного пучка, вызванного рассеянием света в стороны; б) света, рассеянного в сторону от первичного пучка (приборы иногда наз. турбидиметрами). Н. могут быть визуальными и фотоэлектрич.; визуальные Н. проще, но применяются все реже из-за субъективности метода измерения.

Большое распространение получили автоматич. Н. пром. назначения. Чаще всего в схемах Н. используется сравнение двух световых пучков, прошедших через измеряемую и эталонную жидкость (рис. 1). При изменении мутности рабочей жидкости меняется интенсивность света, падающего на рабочий фотоэлемент. Разность сигналов с фотоэлементов усиливается и служит мерой отклонения мутности измеряемой жидкости от эталонной (в схемах с непосредственным отсчетом) или же является управляющим сигналом для компенсирующего воздействия (в схемах с нулевым методом отсчета). Компенсация осуществляется оптич. клином, шторками, диафрагмами и др.; может быть применена и электрич. компенсация.

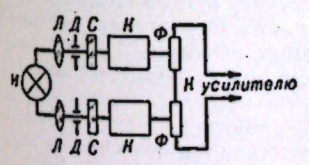


Рис. 1. Оптич. схема универсального фотоэлектрич. нефелометра; *И* — источник света; *Л* — линзы; *Д* — диафрагмы; *С* — светофильтры; *К* — кюветы; *Ф* — фотоприемники.

Общепромышленный Н.-сигнализатор (рис. 2) основан на измерении интенсивности рассеянного света. Оптическая схема прибора также состоит из двух каналов. Кюветы проточные, шарообразной формы. Интенсивность рассеянного света измеряется под углом 90° к первичному пучку. В качестве фотоприемников *Ф* применены фотосопротивления ФСК-1. Прибор релейного действия; фотосопротивления включены последовательно (рис. 3) и образуют делитель напряжения, с к-рого подается сигнал на поджигающий электрод тиратрона *Т*, имеющего в анодной цепи реле *Р*. При протекании через измерит. кювету раствора с мутностью, превышающей заданную, потенциал тиратрона возрастает до потенциала зажигания, тиратрон

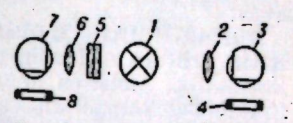


Рис. 2. Принципиальная оптич. схема пром. нефелометра: *1* — лампа просвечивания; *2, 6* — линзы; *3, 7* — кюветы; *4, 8* — фотосопротивления; *5* — светофильтр.

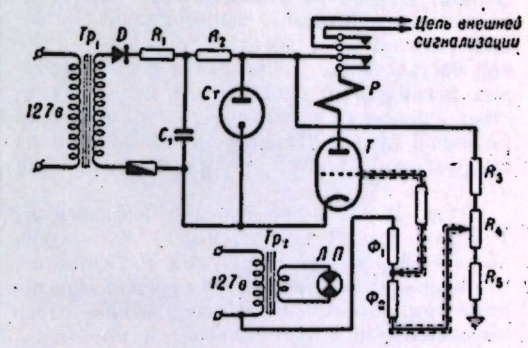


Рис. 3. Принципиальная электрическая схема пром. нефелометра.

зажигается. Включается реле и замыкает цепь сигнализации. В схеме предусмотрена жесткая стабилизация цепей питания и возможность перестройки порога срабатывания в широких пределах.

Лит.: Шишловский А. А., Прикладная физическая оптика, М., 1961; Физические методы органической химии, под ред. А. Вайсбергера, пер. с англ., т. 4, М., 1955; Турчин А. М., Электрические измерения неэлектрических величин, 3 изд., М.—Л., 1959; Ландсберг Г. С., Оптика, 4 изд., М., 1957; Юинг Г. В., Инструментальные методы химического анализа, пер. с англ., М., 1960; Лилеков Ю. С., Физико-химические методы анализа, 3 изд., М., 1960; Шифрин К. С., Рассеяние света в мутной среде, М.—Л., 1951. *С. Э. Шахбудагян-Шоу.*

НЕЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ (insensitivity; insensibilité; Unempfindlichkeit) — величина, до к-рой изменения входного сигнала элемента (системы) не вызывают ответного сигнала на выходе. В статич. хар-ках элементов, обладающих Н., имеется зона застоя (см. также *Зона нечувствительности*). Н. может явиться следствием сухого трения, люфта, выбираемого неподжатой пружиной, перекрытий в золотниках и т. д. Н. особенно сильно сказывается при малых изменениях входных сигналов. *Л. А. Тененбаум.*

НОРМАЛИЗАЦИИ ПРИНЦИП (standardization principle; principe de normalisation; Prinzip der Normalisierung) — естественно-научная гипотеза, гласящая, что для любого предписания, к-рое может быть признано алгоритмом, существует равносильный ему *нормальный алгоритм Маркова*. *И. А. Кринецкий.*

НОРМАЛИЗОВАННОЕ ЧИСЛО (number represented with a floating point; nombre noté avec une virgule flottante; normalisierte Zahl, normalisierte Ziffer) — число, представленное в форме с *запятой плавающей*, т. о., что старшая цифра его мантиссы отлична от нуля. *И. А. Кришкий.*

НОРМАЛЬНАЯ ФОРМА ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЧИСЛА (floating-point number representation; notation d'un nombre à virgule flottante; Normalform der Zifferndarstellung, Normalform der Zifferneingabe) — форма представления чисел с *запятой плавающей*.

НОРМАЛЬНЫЕ АЛГОРИТМЫ МАРКОВА, НА (normal Markov algorithms; algorithmes normaux de Markov; normale Markoff—Algorithmen), — семейство алгоритмов, в к-рых элементарными действиями являются т. н. подстановки. Пусть $Б$ — нек-рый *алфавит*, причем «$\to$» и «$\to\cdot$» не являются буквами этого алфавита и пусть α и β — слова в алфавите $Б$. Строки вида $\alpha\to\beta$ и $\alpha\to\cdot\beta$ наз. ф-лами. Первая из указанных ф-л наз. подстановкой, а вторая — заключит. подстановкой. Слово α наз. левой, а слово β — правой частью ф-лы. Допускаются ф-лы, в которых левая или (и) правая часть является «пустым словом» (т. е. «словом», не содержащим ни одной буквы). Такие ф-лы имеют один из следующих видов: $\to\beta$; $\alpha\to$; $\to$; $\to\cdot\beta$; $\alpha\to\cdot$; $\to\cdot$.

Пусть $Р$ — нек-рое слово в алфавите $Б$. Говорят, что $Р$ поддается ф-ле, если левая часть этой ф-лы входит просто в $Р$. Считается, что всякое слово начинается простым вхождением «пустого слова». Поэтому всякое слово поддается ф-ле с пустой левой частью. Конечная последовательность (столбец) ф-л наз. НА в алфавите $Б$. Для наглядности будем считать, что ф-лы, образующие НА, перенумерованы числами 1, 2,...,n. Применением НА к слову $Р$ наз. процесс, определяемый следующим правилом (представляющим собой алгоритм выполнения НА):

1. Считать, что $i=1$. Перейти к пункту 2.
2. Проверить, поддается ли преобразуемое слово i-той ф-ле. Если да, перейти к 3, если нет — к 5.
3. Первое простое вхождение левой части i-той ф-лы в преобразуемом слове заменить правой частью i-той ф-лы. Результат считать в дальнейшем преобразуемым словом. Перейти к 4.
4. Если i-тая ф-ла является заключит. подстановкой, то процесс прекратить. В противном случае перейти к 1.
5. Проверить, имеет ли место равенство $i=n$. Если да, процесс прекратить, в противном случае перейти к 6.
6. Увеличить значение i на 1 и перейти к пункту 2.

Любое слово в алфавите $Б$ может служить исходным данным для НА в алфавите $Б$. При этом возможны следующие случаи: а) процесс выполнения НА при исходном слове $Р$ заканчивается после конечного числа шагов. При этом говорят, что НА применим к слову $Р$, и полученное после его выполнения слово Q наз. результатом; б) процесс выполнения НА при исходном слове $Р$ никогда не заканчивается. В этом случае НА неприменим к слову $Р$. НА в любом расширении алфавита $Б$ наз. НА над алфавитом $Б$.

Пример. Пусть алфавит $Б$ состоит из 0 и 1. НА над алфавитом $Б$ (т. е. НА в алфавите, являющемся расширением $Б$ и состоящем из букв 0,1,α, β)

$\beta\alpha\to\beta$	$\alpha00\to0\alpha0$
$\beta0\to0\beta$	$\alpha01\to1\alpha0$
$\beta1\to1\beta$	$\alpha10\to0\alpha1$
$\beta\to\cdot$	$\alpha11\to1\alpha1$
$\alpha\alpha\to\beta$	$\to\alpha$

«обращает» любое слово в $Б$, т. е. перерабатывает его в слово, записанное в обратном порядке. Напр., слово 100 этот НА последовательно перерабатывает в слова α100, 0α10, 00α1, α00α1, 0α0α1, α0α0α1, $\alpha\alpha$0α0α1, β0α0α1, 0$\beta\alpha$0α1, 0β0α1, 00$\beta\alpha$1, 00β1, 001. Процесс заканчивается выполнением заключительной подстановки $\beta\to\cdot$ и приводит к результату 001.

Теория НА разработана сов. ученым А. А. Марковым для уточнения понятия *алгоритма* и исследования его математич. методами. Уточнения понятия алгоритма делались и до Маркова, напр., в виде теории рекурсивных ф-ций или теории *Тьюринга машин*. Однако ни одна из этих теорий, в отличие от теории НА, не является непосредственно теорией алгоритмов. Осн. вопросы, для решения к-рых Марков разработал теорию НА,— это вопросы существования и, гл. обр., несуществования алгоритмов решения тех или иных массовых проблем (см. *Алгоритмическая неразрешимость*). Чтобы выводы о несуществовании НА можно было распространить на др. (отличные от НА) алгоритмы, Марков высказал гипотезу, наз. принципом нормализации, гласящую: для всякого алгоритма в алфавите $Б$ существует вполне эквивалентный ему относительно $Б$ НА над алфавитом $Б$. При этом два алгоритма наз. вполне эквивалентными относительно $Б$, если всякий раз, как один из них перерабатывает слово $Р$ в $Б$ в нек-рое слово Q, другой делает то же.

Лит.: Марков А. А., Теория алгорифмов, М.—Л., 1954 (Тр. Матем. ин-та АН СССР, т. 42); Яновская С. А., Математическая логика и основания математики, в кн.: Математика в СССР за сорок лет. 1917—1957, т. 1, М., 1959. *Н. А. Кришкий.*

НОСИТЕЛЬ ИНФОРМАЦИИ (information carrier; porteur d'information; Informationsträger) — физич. среда, используемая для накопления информации. Основными показателями Н. и. являются: стоимость, габариты, долговечность, возможность многократного использования, нестираемость записи при длит. хранении, надежность записи и считывания. По характеру накопления разделяются на Н. и. с непрерывной средой накопления, у к-рых геометрич. положение информации может быть изменено на любую величину, и Н. и. с дискретной средой накопления, в к-рых каждой единице информации отводится свой дискретный участок. Первые (магнитные ленты, барабаны, диски и др.) характеризуются поверхностными плотностями записи и применяются для хранения больших объемов информации при сравнительно небольших габаритах. Ко вторым относятся магнитные сердечники, пленки, туннельные диоды, криотроны и др.

Сохранение информации в Н. и. возможно с использованием перфорации, остаточного магнитного потока, сверхпроводимости, оптич.

записи. На рис. 1 показаны нек-рые Н. и. Амер. фирмой ИБМ в качестве Н. и. для перевода с рус. языка на английский применяется стеклянный диск диаметром ~ 25 *см*. Он хранит коды 55 000 рус. слов, съем информации осуществляется оптическим путем. По способу использования информации Н. и. делятся на подвижные, в к-рых обеспечивается легкий доступ к большому объему информации за счет перемещения носителя относительно системы выборки информации, и неподвижные, имеющие разветвл. адресную систему выборки.

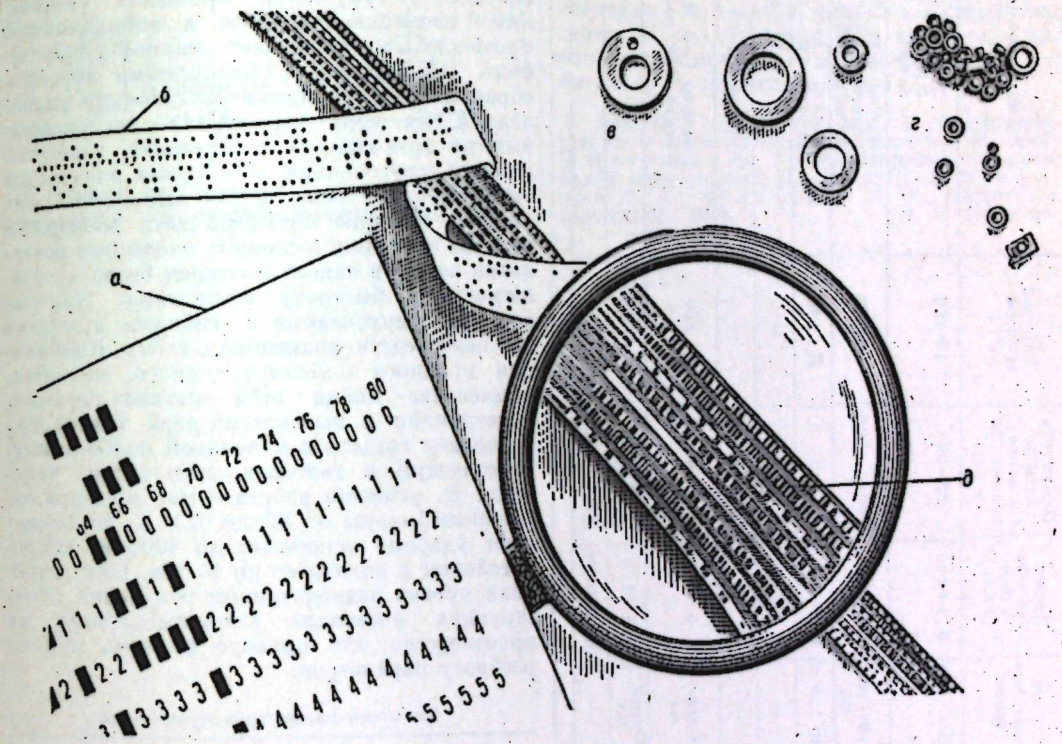


Рис. 1. Носители информации: *а* — перфокарта; *б* — перфолента; *в* — трансфлюкторы; *г* — магнитные сердечники; *д* — магнитная лента (проявленная).

Н. и. характеризуются следующими параметрами: электрич. свойствами накопит. среды (остаточная индукция, пороговые значения

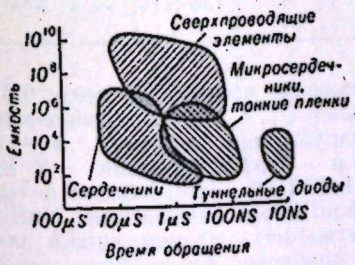


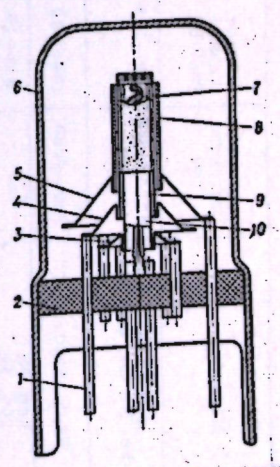
Рис. 2. Использование различных носителей информации в зависимости от емкости и времени обращения ЗУ.

токов и т. п.), габаритами (наружный и внутр. диаметры, толщина и т. п.), эксплуатац. данными (рабочая темп-ра, число оборотов, условия хранения и т. п.). В таблице (стр. 388) даны параметры осн. Н. и.

Направление в развитии Н. и. — создание дешевых и больших по емкости быстродействующих устройств с высокой надежностью хранения информации. График наглядно иллюстрирует тенденции в развитии Н. и. (рис. 2).

Лит.: Магуайр Т., Перспективы использования вычислительных машин на сверхпроводящих элементах, «Электроника», 1961, т. 34, № 47; Райхман И. А. (Rajchman I. A.), Запоминающие устройства вычислительных машин. Обзор современного состояния, «Тр. ин-та радиоинженеров», рус. пер., 1961, № 1. *А. В. Гусев.*

НУВИСТОР (nouvistor; nouvistor; Nuwistor)—приемно-усилит. металлокерамич. лампа. Н. применяются в радиотехнич. аппаратуре на частотах до 1200 *Мгц*, имеют равномерную плотность тока по всей поверхности катода, что улучшает соотношение S/I_a. Цилиндрическая система электродов (рисунок) обеспечивает однородное электрическое поле вокруг катода, снижая внутриламповые шумы, и позволяет наиболее полно использовать излучающую поверхность катода. В Н. отсутствуют стекло и слюдяные изоляторы, ухудшающие изоляцию в процессе эксплуатации вследствие испарения катода и осаждения его материала на слю-



Конструкция нувистора (триода): *1* — выводы; *2* — керамич. шайба; *3* — катодный держатель; *4* — сеточный держатель; *5* — анодный держатель; *6* — колба; *7* — подогреватель; *8* — анод; *9* — сетка; *10* — катодная трубка.

Носитель информации	Материал	Остаточная индукция (гс)	Коэрцитивная сила (э)	Амплитуда считанного сигнала (ма)	Токи переключения	Время переключения (мксек)	Плотность записи (двоичных знаков на 1 см²)	Рабочая темп-ра (°С)	Размеры нек-рых образцов
Магнитные сердечники	$MnO{\cdot}Fe_2O_3$ (Me—Fe, Ni, Co, Zn, Mg)	1700—2500	0.2—4.0	50—500	До 1,5а	0.1—1.0	20—50	10—60	1.2×0.7×0.3 мм 2.0×1.3×0.9 мм 3.0×2.0×1.3 мм
Магнитные ленты	Fe_2O_3, Fe_3O_4	200—1000	100—600	1.0—100	10—100 ма	10—100	1000—4000	До 60	Ширина 6.3; 19.0; 35.0; 125 мм Толщина до 100 мк Длина до 1000 м
Магнитные пленки	80% Ni 20% Fe	—	0.5—10	2—10	До 1,5 а	0.01—0,1	10	До 100	Диаметр 1.5—3 мм Толщина 500—2000 Å
Перфокарты	Электротехнич. картон	—	—	—	—	—	6,3	—	187×82 мм
Перфоленты	Бумага, кинопленка	—	—	—	—	—	5—6	—	Ширина 12; 17.5 и 35 мм
Туннельные диоды	Ge, Si	—	—	Сотни ма	—	0.01	5—8	До 300	Диаметр 1—3 мм Высота 1—2 мм
Криотроны	Pb, Sn, Ta, Nb и др.	—	—	2—5	Сотни ма	0.1—1.0	Несколько десятков	0.3—10 °К	—
Фотохромные	Фотохромные красители	—	—	—	—	Доли мксек	До 40 000	—	—

до; отсутствуют слюдяная пыль и выделение газов. Обезгаживание Н. ведется при температуре 1173—1273° К, что невозможно для обычных ламп со стеклом и слюдой. Высокая температура откачки способствует хорошему обезгаживанию и устраняет необходимость геттера. Скрепление деталей производится только пайкой, в отличие от обычных ламп, где применяется заварка. Это значительно улучшает прочность соединения, изоляцию, ударную и вибрационную прочность и уменьшает микрофонный эффект. Цилиндрич. с фланцовыми воронкообразными окончаниями электроды укрепляются на трех держателях, расположенных на трех штырях в вершинах равностороннего треугольника. Держатели электродов покрыты слоем меди, к-рый выполняет роль припоя. Наличие на колбе двух маленьких экранов позволяет защищать вводы при вставлении лампы в панель и создает безопасность, легкость и быстроту вставления. Нек-рые типы Н. выпускаются с гибкими выводами для непосредств. впаивания в схему. Комбинация прочного конструктивного ансамбля, применение пайки всей металло-керамич. конструкции и высокотемп-рная технология позволили создать в маленькой колбе лампу, работающую в тяжелых эксплуатац. условиях. Н. успешно работают при темп-рах окружающей среды от 73° до 623° К. Выдерживают ударные ускорения до 1000 *g*, виброустойчивы в диапазоне до 10 *кгц*. Они устойчивы против радиоактивных облучений. Конструкция позволила автоматизировать их производство, что привело к очень малому разбросу параметров.

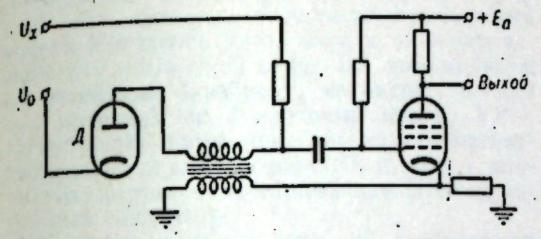
Значения параметров нувисторов

Тип	Страна	Режим и основные параметры					
		$I_н$ (ма)	$U_а$ (в)	$U_э$ (в)	S (ма/в)	$I_а$ (ма)	μ
Триод ВЧ	США	—	150	—	12,4	10	70
Триод . .	»	—	12	—	8,0	5,8	—
Триод . .	»	135	110	—	9,0	1,5	62
Триод . .	ФРГ	140	75	—	11,5	10,5	33
Тетрод . .	»	150	125	50	10,6	10	—
Триод . .	»	135	110	—	9,4	7	64

Напряжение накала $U_н$ везде 6,3 *в*; $I_н$ — ток накала; $U_а$, $I_а$ — напряжение и ток анода; $U_э$ — напряжение экрана; S — крутизна хар-ки; μ — коэфф. усиления. *И. К. Дадерко.*

НУЛЬ-ОРГАН (null-balance device; dispositif d'équilibrage automatique; Nullindikator, Nullwertmelder) — сравнивающий элемент измерит. приборов, работающих по нулевому методу (обычно автоматических), и устройств управления и регулирования, формирующий сигнал рассогласования (или его знак) сравниваемых величин. В измерит. устройствах с ручным уравновешиванием Н.-о. выдает визуальный сигнал и наз. нуль-индикатором. В аналоговых автокомпенсаторах, работающих по принципу следящей системы, основная функция Н.-о.—усиление сигнала рассогласования до уровня, необходимого для вращения реверсивного двигателя, управляющего компенсирующим элементом. В качестве Н.-о.

аналогового компенсатора пост. тока обычно применяется усилитель [1]. Задача Н.-о. в ряде схем цифровых автокомпенсаторов — определение знака отклонения системы от положения равновесия [2]. В следящих цифровых приборах с реверсивным импульсным счетчиком Н.-о. вырабатывает сигнал реверсирования.



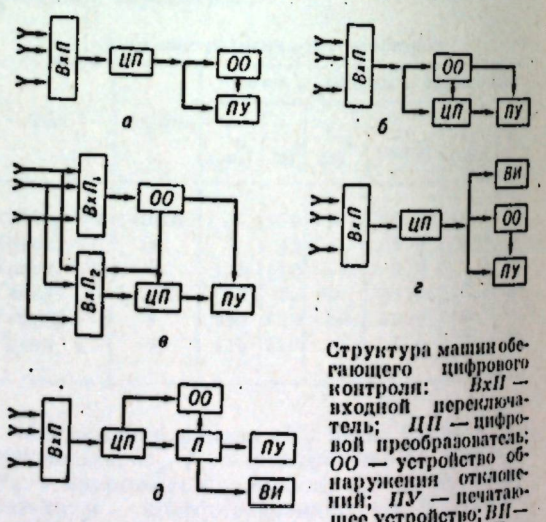
В отличие от следящих систем, в приборах, основанных на развертывающем преобразовании, Н.-о. вырабатывает управляющий сигнал в момент достижения равенства измеряемой величины и мгновенного значения образцовой [3]. В диодном Н.-о. с положительной трансформаторной обратной связью (см. рис.) при $U_x<U_0$ диод Д заперт, а выходной пентод открыт. В момент, когда $U_x=U_0$, диод начинает проводить и замыкает цепь положит. обратной связи. На выходе Н.-о. возникает кратковрем. положит. импульс. Помимо электрич., в технике находят применение также Н.-о., служащие для сравнения др. однородных величин — механич. (в том числе пневматич.), магнитные и др.

Лит.: 1) Полонников Д. Е., Электронные усилители автоматических компенсаторов, М., 1960; 2) Нетребенко К. А., Цифровые автоматические компенсаторы, М.—Л., 1961; 3) Мееров ич Л. А., Зеличенко Л. Г., Импульсная техника, М., 1953. *П. И. Павленко.*

О

ОБЕГАЮЩЕГО ЦИФРОВОГО КОНТРОЛЯ МАШИНА (data logging and monitoring machine with scanning; machine de contrôle multiple par commutation; Maschine mit durchlaufender Ziffernkontrolle) — устройство для контроля технологич. процесса или объекта, в котором контролируемые величины поочередно представляются в цифровой форме. Применяются для *контроля централизованного* непрерывных производств. процессов, а также контроля исправности сложной электрич. аппаратуры (напр., бортовой аппаратуры самолетов и ракет). К О. ц. к. м. близко примыкают устройства обегающего многоточечного измерения и регистрации при исследовании производств. процессов и конструкций. Цифровое представление используется в О. ц. к. м. при регистрации контролируемых величин, а в ряде машин — также для обнаружения отклонений и визуальной индикации результатов измерения. Структура О. ц. к. м. основана на принципе *контроля обегающего*. Цифровое преобразование выполняется в самой О. ц. к. м. преобразователем, общим для всех контролируемых точек. Аналоговые сигналы датчиков, подводимые к О. ц. к. м.,— обычно электрические, но в нек-рых машинах — пневматические; в последнем случае в составе О. ц. к. м. имеется пневмоэлектрич. преобразователь. Для контроля химич. состава строятся О. ц. к. м., в к-рых ко входу общего анализатора поочередно подводятся контролируемые жидкости или газы. Входной электрич. величиной обычно являются: напряжение пост. тока, получаемое от датчиков и преобразователей с токовым выходом; эдс термопар; сопротивление тензометрич. датчиков и термометров сопротивления и реже — напряжение перем. тока, время-импульсные и частотные сигналы. При многоступенчатом построении систем контроля (см. *Центротехника*) центральная О. ц. к. м. может контролировать непосредственно цифровые входы; индивид. цифровые преобразователи (ЦП) устанавливаются до входного переключателя лишь в исключит. случаях. Число точек, контролируемых одной машиной, может колебаться от 10 до неск. тысяч. В О. ц. к. м. для контроля теплотехнич. и химич. процессов скорость опроса точек не более 10 в сек., для быстро протекающих процессов — до неск. сот и даже тыс. точек в сек. Точность контроля — 1%—0,1%.

Осн. узлы О. ц. к. м.: входной переключатель (ВхП), ЦП, устройство цифрового указания, ЗУ (только в сложных машинах), УУ. Вычислит. устройства, как правило, не включаются в состав О. ц. к. м.; для вычислений используются отдельные вычислит. машины, объединяемые в одну общую систему контроля с О. ц. к. м. Индивид. узлы световой сигнализации отклонений и регулирования могут конструктивно входить в О. ц. к. м. или устанавливаться на щитах управления технологич. установкой. В качестве ВхП используются вращающиеся электромеханич. конструкции, шаговые искатели, наборы электромагнитных реле (герметизированных или капсульных), а для быстрого переключения— ПП ключи. Для цифрового преобразования



Структура машин обегающего цифрового контроля: *ВхП* — входной переключатель; *ЦП* — цифровой преобразователь; *ОО* — устройство обнаружения отклонений; *ПУ* — печатающее устройство; *ВИ* — устройство цифрового измерения по вызову; *П* — цифровая память.

служат развертывающие или следящие электронные устройства (последние — с контактной коммутацией в цепи эталонного напряжения). Преобразователи с кодовым диском на валу электромеханич. компенсатора применяются лишь в О. ц. к. м. медленного действия. Для цифровой регистрации служат электрифициров. пишущие машинки, нередко с реверсивным управлением положением ведомости, возможностью применения очень широких бланков и повыш. сроком службы. Отклонения и внеочередные данные регистрируются также на цифропечатающих аппаратах штангового типа, печатающих параллельно ок. 15 знаков в строке вертикально расположж. бумажной ленты. Многие О. ц. к. м. снабжаются перфораторами, пробивающими карты или ленту, и устройствами импульсной записи на магнитной ленте. Цифровые указатели строятся на основе неоновых ламп с набором фигурных катодов, электролюминесцентных мозаик или оптич. указателей с проецированием или подсветкой цифр. ЗУ выполняются на магнитных барабанах, магнитных дисках или матрицах из ферритовых колец, УУ— из цифровых логич. ячеек на электромагнитных реле (в ранних моделях О. ц. к. м.), магнитных, ферротранзисторных или ПП бесконтактных элементах.

Структурная схема (рис., *а*) применяется в машинах для контроля медленных процессов, где скорость ЦП достаточна для контроля отклонений. Если скорость цифрового преобразования больше, чем скорость цифровой регистрации, при действии последней длительность шага обегания автоматически увеличивается. В машинах по схеме рис., *б* ЦП действует не на каждом шаге обегания, а лишь для цифровой регистрации; отклонения обнаруживаются аналоговой схемой, что позволяет повысить скорость обегания. При цифровой регистрации обегание замедляется до скорости, с к-рой действуют печатающие устройства (ПУ). Структура рис., *в* позволяет сохранить высокую скорость обегания независимо от необходимости цифровой регистрации: здесь имеются две обегающие системы, одна из к-рых — для аналогового обнаружения отклонений, действует непрерывно, а другая — система цифровой регистрации, включается только для печати отклонений или значений параметров. Структура рис., *г* предусматривает неравномерное обегание по сложной программе, согласно к-рой опрос параметров для регистрации прерывается циклами опроса для обнаружения отклонений или для обновления показаний цифрового измерит. прибора. Применение промежуточной цифровой памяти по рис., *д* дает наибольшую гибкость структуры; здесь скорость обегания вообще не связана с регистрирующим устройством и ограничивается лишь ЦП. Осн. хар-ки сов. О. ц. к. м. даны в табл.

Последовательность действий О. ц. к. м. ясна на примере сравнительно простой машины пром. контроля Honeywell 3120 (США), построенной по структуре рис., *а*. К входному переключателю, собранному на залитых маслом блочных шаговых искателях, подводятся напряжения от 120 датчиков: сигналы в шкалах 0—100 *мв* или 25—125 *мв* пост. тока или эдс термопар; эти последние коммутируются капсульным реле с ртутным смачиванием. Входные напряжения, переключаемые с частотой 7 точек в сек., подводятся к ЦП, построенному по принципу поразрядного уравновешивания, с капсульными реле в качестве ключей обратной связи. Др. поля шаговых искателей подключают к ЦП цепи наборных полей, задающих для каждой точки значения нижнего и верхнего пределов шкалы цифрового преобразования и уровня предупредит. сигнализации. На каждом шаге обегания результат цифрового преобразования сравнивается уставкой сигнализации, и, в случае превышения ее уровня, включается звуковой сиг-

Основные характеристики цифровых машин непрерывного централизованного контроля, разработанных в СССР

Название машины	Число контролируемых точек	Датчики и первичные преобразователи, входные сигналы	Структурн. схема (по рис.)	Входной переключатель, скорость обегания	Цифровой преобразователь	Основные элементы цифровых и логич. схем	Выходное устройство регистрации	Прибор измерения по вызову	Примечание
МАРС-300	300	Термопары, дифференциально трансформаторные датчики, напряжение с реостатных датчиков	*б*	Электромагнитные реле, до 10 *точек/сек*	Электромеханич. компенсатор с кодовым диском	Электромагнитные реле	Пишущая машинка, 3 *сек* на точку	Электромеханич. компенсатор	Точность 0,5% — для термопар, 1% — для перем. тока
МАРС-200Р	200	Термопары	*б*	То же	То же	То же	То же, 5 *сек* на точку	То же	Точность ±1%
ЭЛРУ-2	56	Термопары, термометры сопротивления, реостатные датчики	*б*	Электромеханич. вращающийся, 5 *сек* на точку	Электромеханич. кодовый диск	Электромагнитные реле, тиратроны с холодным катодом	Пишущая машинка	То же	—
МАР-1	240	0—10 *в* пост. тока	*д*	То же, 5 *точек/сек*	Развертывающий	Электронные лампы и реле	То же	—	Точность ±0.2%
ЗЕНИТ-1	40	Термопары, термометры сопротивления, преобразователи с выходом на пост. токе	*в*	То же, 10 *точек/сек*	Следящий, с капсульными реле в цепи обратной связи	Тиратроны с холодным катодом	То же, 4 *сек* на точку	Электромеханич. компенсатор с аналогматич. сменой шкалы и цифровой указатель	Точность ±0,2% для линейных датчиков, ±0,5% для нелинейных датчиков
ЗЕНИТ-2	80	То же	*в*	То же, 14 *точек/сек*	То же	То же	То же	То же	—

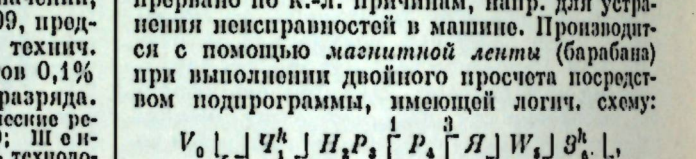
пал и зажигается ячейка светового табло с номером точки; световой сигнал остается включенным в течение всего времени отклонения, а звуковой отключается оператором. При отклонении автоматически включается цифропечатающий аппарат, к-рый печатает время, номер точки и значение величины в зависимости от выбранного режима либо при отклонении и возврате величины к норм. значению, либо в каждом цикле обегания. Эти переходные и отклонившиеся значения печатаются поперек ленты, так что каждое значение занимает одну строку. Значения всех величин через заданные промежутки времени или по вызову оператора автоматически регистрируются электрифициров. пишущей машинкой на спец. ведомости, где один цикл записи 60 параметров занимает одну строку; для регистрации 120 параметров используют две пишущие машинки. При регистрации обегание замедляется до двух точек в сек. Значения, выходящие за пределы норм. зоны, печатаются красным цветом. Любая контролируемая точка может подключаться к цифровому указателю измерения по вызову, показания к-рого обновляются один раз в 3 сек. Цифровой указатель построен на неоновых лампах с фигурными катодами. Печатаются и показываются четыре десятичных знака цифровых значений, возможны отсчеты от —9999 до +9999, представляющие значения параметров в технич. единицах измерения. Точность отсчетов 0,1% или один знак младшего десятичного разряда.

Лит.: Томников Ф. Е., Автоматические регистрирующие приборы, 2 изд., М., 1960; Шенброт И. М., Централизованный контроль технологических процессов, М.—Л., 1961; Якобсон В. М., Принцип построения машин типа МАРС для централизованного контроля, «ПТ», 1960, № 1; Аронзон М. Н., Data loggers, «Instrum. Control Systems», 1959, v. 32; № 11—12. См. также лит. при статье *Контроль централизованный*.

И. М. Шенброт.

ОБЕДНЕННЫЙ СЛОЙ (impoverished layer; couche appauvrie; verarmte Schicht, abgereicherte Schicht) — слой ПП, в к-ром вследствие наличия потенциального барьера концентрации подвижных носителей заряда недостаточны для нейтрализации суммарной области объемного заряда доноров и акцепторов, или область ПП, в к-рой вследствие к.-л. воздействий или из-за взаимодействия с соседними областями или поверхностью суммарная концентрация дырок и электронов меньше, чем в однородном ПП того же состава, при той же темп-ре в состоянии термодинамич. равновесия. Характерный признак О. с.— наличие электрич. поля и объемного заряда: напр. область p—n-перехода. В этой области меньше не только сумма, но и произведение концентраций электронов n и дырок p, которое при термодинамич. равновесии постоянно и в неоднородном ПП: $pn = n_i^2 e^{-\frac{qU}{kT}}$, где n_i — концентрация электронов в собств. ПП, e — основание натур. логарифмов, U — напряжение, k — постоянная Больцмана, T — абсолютная температура, q — заряд электрона. Другой пример — ПП в электрич. поле. Концентрация дырок и электронов под поверхностью изменяется по закону $p(x) = pe^{-\frac{q\varphi(x)}{kT}}$ и $n(x) = ne^{\frac{q\varphi(x)}{kT}}$, где $\varphi(x)$ — потенциал в точке x по отношению к объему. Если потенциал поверхности положительный, то концентрация дырок уменьшается, а электронов увеличивается. Т. о., при положит. поверхностном потенциале О. с. образуется на поверхности дырочного ПП, т. к. концентрация дырок падает быстрее, чем растет концентрация электронов. Глубина проникновения О. с. в ПП определяется потенциалом поверхности относительно объема. Дальнейшее увеличение положит. поверхностного потенциала приведет к образованию на поверхности p-типа *инверсионного слоя*, а О. с. отступит в глубь ПП. На поверхности электронного ПП при положит. поверхностном потенциале образуется обогащенный слой (суммарная концентрация подвижных носителей в слое больше, чем в объеме). В случае отрицат. поверхностного потенциала О. с. образуется на поверхности электронного ПП, а обогащенный — на поверхности дырочного. В этом примере электрич. тока через ПП под действием поля нет; система равновесна, и произведение концентраций подвижных носителей сохраняются постоянным. *А. И. Федоров.*

ОБНОВЛЕНИЕ ПАМЯТИ (storage regeneration; régénération de mémoire; Speicherwiederherstellung, Speichererneuerung) — 1) Восстановление содержимого оперативного ЗУ в процессе решения задачи. О. п. позволяет продолжить решение в тех случаях, когда оно прервано по к.-л. причинам, напр. для устранения неисправностей в машине. Производится с помощью *магнитной ленты* (барабана) при выполнении двойного просчета посредством подпрограммы, имеющей логич. схему:



где V_0 — оператор ввода программы; Ψ_1^k — оператор считывания содержимого зоны с номером k в оперативное ЗУ; H_2 — оператор, выполняющий программу решаемой задачи; P_3 — оператор, выполняющий проверку логич. условия, определяющего переход к $\downarrow_1 \Psi_1^k$, когда контрольное суммирование производится после первого просчета; P_4 — оператор, осуществляющий переход к $\downarrow_3 W_5$, когда контрольные суммы совпадают между собой; W_5 — вывод результатов; $\Im_6^k$ — оператор записи всей программы решаемой задачи вместе с ее исходными данными в зону с номером k; $Я$ — останов.

Благодаря записи, осуществляемой $\Im_6^k$, запоминается первонач. вид программы (оператор H_2) для каждого из ее участков, просчитываемых дважды, что дает возможность: а) восстанавливать для второго просчета первонач. вид оператора H_2, используя только команды чтения с магнитной ленты (оператор Ψ_1^k), не применяя спец. участков программы, состоящих из команд, служащих для восстановления первонач. вида оператора H_2, и б) продолжать решение после его прерывания, выполняя чтение из зоны с номером k с последующей передачей управления к H_2.

В тех случаях, когда программное восстановление оператора H_2 производится небольшим числом команд, для ускорения решения задачи применяют обычно участок программы с логич. схемой:

в к-рой B_1 — оператор, содержащий команды восстановления оператора H_2. Оператор $\Im_6^k$ обеспечивает возможность осуществить О. п. после перерыва в решении задачи.

2) Периодическая перезапись содержимого *зон магнитной ленты* для предотвращения потери информации за счет старения ленты. О. п. применяется для магнитных лент, хранящих коды, используемые многократно в течение длит. времени, напр. в специализиров. информац. машинах. О. п. производится по спец. программе с частотой, определяемой быстротой старения ленты, зависящей, в свою очередь, от ее ширины и качества, от конструкции лентопротяжных механизмов, от частоты использования ленты. При О. п. содержимое зон переносится (дублируется) обычно на новую ленту. *Г. А. Миронов.*

ОБОБЩЕННЫЙ ПОРТРЕТ (generalized portrait; portrait généralisé; verallgemeinerter Porträt) — описание образа в отображении, свойственном данной киберметич. системе. Понятие О. п. используется при описании работы машин, предназнач. для *распознавания образов*.

Каждый О. п. есть точка φ_l в метрич. пространстве T, к-рая ставится в соответствие образу ${}_0\Phi_l$ так, чтобы выполнялись неравенства:

$$\varrho(f_l\varphi_l) < \varrho(f_j\varphi_l), \qquad (1)$$

где f_l — точка пространства T, соответствующая элементу образа ${}_0\Phi_l$, f_j — точка пространства T, соответствующая элементу образа ${}_0\Phi_j$.

В (1) была введена формальная аксиоматика, применимая при описании машин, распознающих образы. Предполагалось, что информация об объекте на входе машины задается его «изображением» Φ. Универс. часть машины M_1 преобразует F — изображение Φ, в точку f нек-рого метрич. пространства T, называемую описанием единичного объекта. Обучающаяся часть машины M_2 в процессе обучения ставит в соответствие каждому образу ${}_0\Phi_l$ нек-рой системы образов A точку φ_l, наз. О. п. образа так, чтобы выполнялись неравенства (1), к-рые можно также записать в виде:

$$\varrho(f_l\varphi_l) \leqslant C_l, \quad \varrho(f_l\varphi_j) > C_j, \qquad (2)$$

где $C_k = \sup_{jk} \varrho(f_k\varphi_k)$.

C_l наз. порогом узнавания образа ${}_0\Phi_l$.

В частном случае в качестве пространства T можно рассмотреть единичную сферу в гильбертовом или n-мерном евклидовом пространстве. Неравенства (2) перейдут в:

$$(f_l\varphi_l) \geqslant K_l, \text{ где } K_l = \inf(f_l\varphi_l)$$
$$(f_l\varphi_j) < K_j, \text{ где } K_j = \inf(f_j\varphi_j).$$

При этом в случае существования О. п. они могут быть найдены путем последоват. приближений. Каждое приближение имеет вид:

$$\varphi_i^l = \sum_k \alpha_{kl} f_{kl} + \sum_{m,j} \beta_{mj} f_{mj},$$

где φ_i^l — l-ое приближение обобщенного портрета φ_i, f_{kl} — точка, соответствующая k-тому объекту l-того образа, f_{mj} — точка, соответствующая m-ому объекту j-того образа ($i \neq j$), а коэфф. α и β определяются как устойчивая особая точка системы дифференц. ур-ний:

$$\left.\begin{aligned} \dot{\alpha}_k &= -\varepsilon\alpha_k + F_1[1-(\varphi_i^l f_{kl})] \\ \dot{\beta}_{mj} &= -\varepsilon\beta_{mj} + F_2[1-(\varphi_i^l f_{mj})] \end{aligned}\right\} \text{ при } \varepsilon \to 0$$

$$F_1(z) = \begin{cases} z, & \text{когда } z \geqslant 0 \\ 0, & \text{когда } z < 0 \end{cases}.$$

$$F_2(z) = -F_1(-z).$$

Этот алгоритм дает возможность находить φ_i^l и C_i^l так, чтобы C_i^l было минимально, что обеспечивает относительно быструю сходимость процесса обучения.

Распознавание образов с помощью О. п. ранее использовалось в неявном виде в распознающих машинах типа пандемониум и в персептронах типа «МАРК-1» [2].

Лит.: 1) Ванник И. Н., Лернер А. Я., О распознавании образов с помощью обобщенного портрета, «АиТ», 1963, № 5; 2) Кибернетический сборник, № 4, М., 1962.

А. Н. Червоненкис.

ОБРАЗ для кибернетической системы A (pattern, image; image; Gestalt) — совокупность раздражителей, на к-рые данная система отвечает одной и той же реакцией. Если множество раздражителей для A есть множество входов $X = \{x_1, x_2, \ldots, x_n\}$, а множество реакций — множество выходов $Y = \{y_1, y_2, \ldots, y_m\}$ и отображение, осуществляемое системой A, есть F, то: О. для киберметич. системы A это есть подмножество X_l входов из X, к-рым при отображении F ставится в соответствие одно и то же y_l. Множество образов $X_1, X_2, \ldots, X_k$ — класс образов для A, если $y_i \neq y_j$ для всех $i \neq j$ $(i, j = 1, 2, \ldots, k)$. При этом система A узнает класс образов $X_1, X_2, \ldots, X_k$, такой что $X_1 \cup X_2 \cup \ldots \cup X_k = X$, и различает всякий класс образов $X_1', X_2', \ldots, X_k'$ на X', если $X_1' \cup X_2' \cup \ldots \cup X_k' = X' \neq X$.

Понятие О. в кибернетике возникло в связи с изучением процессов восприятия, переработки и передачи информации и отлично от понятий О., к-рые используются в различных областях науки и искусства.

При рассмотрении различных киберметич. систем возникает задача определения класса О., распознаваемых данной системой (задача анализа). Задачу синтеза можно сформулировать следующим образом: построить киберметич. систему, распознающую или различающую те же О., что и нек-рая др. система. Обе проблемы не представляют трудности, когда число входов X рассматриваемых киберметич. систем мало. В этом случае проблема анализа сводится к выявлению таблицы переходов эксперимент. путем, а проблема синтеза — к построению конечного автомата по заданной таблице переходов.

Если же число входов X настолько велико, что прямой перебор их элементов практически невозможен, то можно определить, совпадают или нет О., распознаваемые системами на некотором множестве X', число элементов к-рого существенно меньше числа элементов множества X. Машины, распознающие О. (см. *Узнающая машина*), могут классифицироваться в зависимости от отображения и от методов обучения, применяемых в них. *Л. М. Бронфорт.*

ОБРАТНАЯ ДИФФУЗИЯ (reverse diffusion; diffusion inverse; Rückdiffusion) — *диф-*

фузия примесей из твердого ПП в граничащую с ним газообразную или жидкую (расплав) фазу. Прежде чем пройти через границу раздела фаз, примесь должна преодолеть нек-рый энергетич. барьер на поверхности твердой фазы. Если высота этого барьера больше, чем энергия активации диффузии в твердом ПП, то скорость О. д. будет ограничиваться скоростью прохождения примеси через потенциальный барьер, в результате чего на поверхности ПП может образоваться слой адсорбированной примеси.

Наличие примеси в граничащей с твердым ПП газообразной (жидкой) фазе снижает скорость удаления примеси от границы раздела фаз и является поэтому дополнит. ограничением скорости О. д. Если объем газообразной (жидкой) фазы ограничен, то О. д. протекает лишь до тех пор, пока отношение концентрации примеси в газообразной (жидкой) фазе к ее концентрации на поверхности ПП не достигнет величины равновесного коэфф. разделения. Ф-ция, описывающая пространств. распределение примеси в твердом ПП в любой момент времени, создавшееся благодаря О. д., может быть получена обычным способом, путем решения диффузионного ур-ния при заданных нач. и граничных условиях.

Для часто встречающегося на практике случая О. д. из равномерно легированного ПП с концентрацией примеси N_0 в непрерывно откачиваемый объем, со скоростью откачки L, граничное условие будет:

$$D\frac{\partial N(x,\tau)}{\partial x}\Big|_{x=0}=\frac{Lh}{L+K_p\,hA}N(0,\,\tau)=K'N(0,\,\tau),$$

где k— скорость испарения примеси с поверхности, K_p — равновесный коэфф. разделения, A — поверхность испарения, D — коэфф. диффузии, τ — время, x — расстояние до границы раздела фаз. Ф-ция, описывающая распадение примеси, выглядит так:

$$\frac{N(x,\,\tau)}{N_0}=\left(\operatorname{erf}\frac{x}{2\sqrt{D\tau}}+\operatorname{erfc}\frac{x}{2\sqrt{D\tau}}+k'\sqrt{\frac{\tau}{D}}\right)\exp\left(\frac{h'x}{D}+\frac{(h')^2}{D}\tau\right).$$

Если же скорость откачки L настолько велика, что концентрация примеси в газовой фазе практически равна нулю, а ограничение скорости диффузии, связанное с наличием на поверхности потенциального барьера, отсутствует, то выражения для граничных условий и ф-ции распределения значительно упрощаются:

$$N_{x=0}=0,$$

$$N(x,\,\tau)=N_0\operatorname{erf}\left(\frac{x}{2\sqrt{D\tau}}\right).$$

Анализируя найденные экспериментально при различных скоростях откачки кривые распределения примеси в ПП, можно определить коэфф. разделения примеси, энергию связи атома примеси в ПП, величину энергетич. барьера на поверхности твердого ПП и др. О. д. широко используется в произ-ве ПП приборов. Базовая область нек-рых типов мощных ВЧ *транзисторов германиевых* создается с применением О. д. меди в расплав. При изготовлении ряда плоскостных и точечных *диодов параметрических* используется О. д. сурьмы (мышьяка) в газовую фазу. О. д. из размельченного в порошок монокристалла германия — источника примеси, позволяет поддерживать концентрацию примеси в газовой фазе во время проведения диффузии в проточной системе. С помощью О. д. при нагреве в вакууме удается очищать ПП от некоторых примесей, напр. германий от меди.

Лит.: Болтакс Б. И., Диффузия в полупроводниках, М., 1961.

А. С. Смульский.

ОБРАТНАЯ СВЯЗЬ (feedback; réaction; Rückkopplung) — воздействие выходной величины к.-л. системы C (рис. 1) на вход этой же системы. В более широком смысле О. с.— воздействие результатов функционирования нек-рой системы на характер этого функционирования. На функционирующую систему, кроме выходной величины, могут действовать также внешние воздействия (x на рис. 1). Цепь AB, по к-рой передается О. с., наз. цепью О. с., линией О. с. или каналом О. с. Канал О. с. может сам содержать к.-л. систему ($Д$, рис. 2), преобразующую выходную величину в процессе ее передачи. В этом случае говорят, что О. с. с выхода системы на ее вход осуществляется с помощью или через посредство системы $Д$.

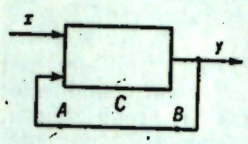


Рис. 1.

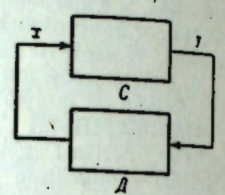


Рис. 2.

О. с. является одним из важнейших понятий *кибернетики* и теории автоматич. управления. Конкретные примеры реализации систем, содержащих О. с., можно обнаружить при изучении самых разнообразных процессов в автоматич. системах, живых организмах, экономич. структурах и т. п. В силу универсальности понятия О. с., применимого в различных областях науки и техники, терминология в этой области не установилась, и в каждой частной области знаний, как правило, используется своя терминология, относящаяся к О. с. Так, напр., в САР широко применяются понятия отрицательной и положительной О. с., к-рыми определяется связь выхода системы с ее входом через усилит. звено с соответственно отрицат. или положит. коэфф. усиления.

В теории электронных усилителей смысл этих терминов иной: отрицательной наз. О. с., уменьшающая абсолютную величину общего коэфф. усиления, а положительной — увеличивающая ее. В зависимости от способов реализации в теории электронных усилителей выделяют О. с. по току, по напряжению и комбинированную.

В САР часто вводят дополнит. О. с., используемые для стабилизации систем или улучшения переходных процессов в них. Эти О. с. иногда наз. корректирующими и среди них выделяют жесткую (осуществляемую с помощью усилит. звена), гибкую (реализуемую дифференцирующим звеном), изодромную (см. *Изодром*) и т. п.

В биологич. системах термин «О. с.» часто заменяется понятиями: «обратная афферентация» [15], «плюс-минус взаимодействие» [14] и т. п.

В системах, содержащих О. с., можно всегда обнаружить замкнутую цепь воздействий. Напр., на рис. 2 часть C системы действует на часть $Д$, а последняя снова на C. Поэтому системы с О. с. наз. также системами с замкнутой цепью воздействий, системами с замкнутым циклом или замкнутым контуром.

В сложных системах может существовать множество различных цепей О. с. В многоэлементной системе выход каждого элемента может, вообще говоря, воздействовать на входы всех остальных элементов, включая свой собств. вход.

С др. стороны, понятие системы с О. с. является до известной степени относит. понятием. Оно может быть введено лишь при условии выполнения нек-рых предварит. операций, проводимых при аналитич. или эксперимент. исследовании: 1) выделение некоторого объекта или системы C (рис. 2) в качестве отдельного от остального мира объекта рассмотрения; б) установление характера воздействия x всего остального мира или его части $Д$, рассматриваемой в качестве внешней среды, на объект C, а также установление характера воздействия y объекта C на часть $Д$.

Т. о., О. с. всегда оказывается внешней по отношению к объекту рассмотрения. Если не производить указанных операций, то понятие О. с. лишается физич. смысла и приобретает условный характер. Так, рассматривая некоторую систему C как единое целое и задаваясь ее ур-ниями, можно построить эквивалентную замкнутую или эквивалентную разомкнутую схемы для внутр. структуры этой системы. Для широкого класса систем разомкнутой системе (рис. 3, *а*) может соответствовать эквивалентная замкнутая система (рис. 3, *б*). Обе

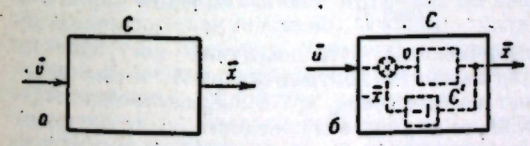


Рис. 3.

системы при одинаковых входах имеют и одинаковые выходы; следовательно, они неотличимы друг от друга с функцион. точки зрения, а вопрос о том, рассматривать ли систему C, как систему с О. с. или без нее, превращается в условность. Конечно, тот или иной вид схемы может оказаться более или менее удобным для расчетов, но все они эквивалентны с принципиальной точки зрения.

Ситуация, однако, радикально меняется, если произвести две указанные выше операции. Эти операции в ряде случаев необходимы при теоретич. рассмотрении, напр. в теории оптимальных систем.

Система C на рис. 3, *а*, рассматриваемая как целое, не содержит О. с.; однако, как видно на рис. 3, *б*, эта же система может рассматриваться как совокупность системы C' и О. с., обводящей эту систему. Следует иметь в виду, что термин «система с О. с.» обычно относится не к системе, обводимой цепью, а к совокупности нек-рой части системы и обводящей ее др. части — О. с. Т. о., системой с О. с. будем наз. такую систему, в к-рой можно выделить по крайней мере один элемент, окруженный О. с. через др. элементы этой системы.

Любое воздействие можно рассматривать с трех осн. сторон: метаболической, энергетич. и информационной. Первая связана с изменениями расположения, формы и состава вещества, вторая — с передачей и преобразованием энергии, а третья — с передачей и преобразованием информации. В теории управления рассматривается исключительно информац. сторона воздействий. Таким образом, О. с. может быть определена как передача информации о выходной величине системы на ее вход либо как поступление информации, преобразованной звеном О. с., с выхода на вход системы.

О б р а т н а я с в я з ь в т е х н и ч е с к и х с и с т е м а х. На применении О. с. основан принцип устройства САР. В них наличие О. с. обеспечивает повышение помехоустойчивости из-за уменьшения влияния помехи (z на рис. 4), действующей в прямом

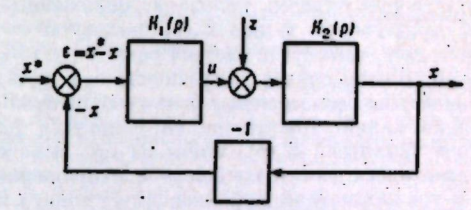


Рис. 4.

тракте системы. Если в линейной системе со звеньями, обладающими передаточными ф-циями $K_1(p)$ и $K_2(p)$ (рис. 4), снять цепь О. с., то изображение x выходной величины x определится следующим соотношением:

$$\bar{x}=K_1(p)K_2(p)\bar{x}^*+K_2(p)\bar{z},\qquad(1)$$

где $\bar{x}^*$ — изображение входной величины x^*, а $\bar{z}$ — изображение помехи z. Если при этом требуется, чтобы выходная величина x в точности равнялась задающему воздействию x^*, то общий коэфф. усиления системы $K(p)=K_1(p)K_2(p)$ должен равняться единице, а помеха z должна отсутствовать. Наличие z и отклонение $K(p)$ от единицы обусловливают возникновение погрешности ε, т. е. разности

$$\varepsilon=x^*-x.\qquad(2)$$

При $K(p)=1$ имеем

$$\bar{\varepsilon}=K_2(p)\bar{z},\qquad(3)$$

где $\bar{\varepsilon}$ — изображение погрешности. Если теперь замкнуть систему с помощью О. с., как показано на рис. 4, изображение выходной величины $\bar{x}$ будет определяться следующим соотношением:

$$\bar{x}=\frac{K_1(p)K_2(p)}{1+K_1(p)K_2(p)}\bar{x}^*+\frac{K_2(p)}{1+K_1(p)K_2(p)}\bar{z}.\qquad(4)$$

Из соотношения (4) следует, что при достаточно большом по модулю коэфф. усиления $K_1(p)$ второе слагаемое пренебрежимо мало́ и, следовательно, влияние помехи z ничтожно. В то же время значение выходной величины x будет очень мало отличаться от значения задающего воздействия x^*, т. к. первое слагаемое в (4), примерно, равно $\bar{x}^*$ при $|K_1(p)|\gg 1$.

Т. о., в замкнутой системе с О. с. удается значительно уменьшить влияние помех по сравнению с разомкнутой системой, т. к. по-

следняя не реагирует на действит. состояние управляемого объекта (на фактич. значение величины x), «слепа» и «глуха» к изменению этого состояния.

Рассмотрим в качестве примера полет самолета. Если заранее с высокой точностью установить рули самолета так, чтобы он летел в заданном направлении, и жестко закрепить их, то порывы ветра и др. случайные и заранее непредвид. факторы собьют самолет с нужного курса. Исправить положение в состоянии только система с О. с. (автопилот), способная сравнивать заданный курс x^* с фактическим x и в зависимости от образовавшегося рассогласования ε изменять положение рулей. О системах с О. с. часто говорят, что они управляются ошибкой ε (рассогласованием).

Если звено $K_1(p)$ представляет собой усилитель с достаточно большим коэфф. усиления, то при определ. условиях, наложенных на передаточную ф-цию $K_2(p)$ остальной части тракта, замкнутая система остается устойчивой. В этом случае погрешность ε в установившемся режиме может быть сделана сколь угодно малой. Достаточно ей появиться на входе усилителя $K_1(p)$, чтобы на его выходе образовалось достаточно большое напряжение u, к-рое автоматически компенсирует помеху и обеспечивает такое значение x, при к-ром разность $\varepsilon=x^*-x$ была бы достаточно мала. Малейшее нарастание ε вызывает несоизмеримо большее нарастание u. Поэтому любая (в практич. пределах) помеха z может быть скомпенсирована и притом при сколь угодно малой величине погрешности ε. О. с., шунтирующую тракт с большим коэфф. усиления, часто наз. глубокой.

Не все помехи в системе можно скомпенсировать, нейтрализовать, применяя О. с. Так, напр., влияние помехи h в цепи О. с. (рис. 5), а также помехи h^* в цепи задающего

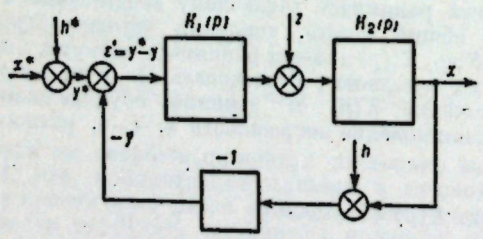


Рис. 5.

воздействия x^* не могут быть подавлены. Эти помехи математически эквивалентны друг другу, т. к. они одинаково действуют на погрешность ε. Однако с физич. точки зрения причины их влияния различны. Помеха h (напр., погрешность в приборе, измеряющем состояние x объекта) лишает систему точной информации о состоянии x объекта, вследствие чего невозможно точно привести это состояние в соответствие с требуемым. Между тем помеха h^* лишает систему точной информации о требуемом состоянии x^*, что также обусловливает невозможность точного приведения погрешности ε к нулю.

О. с. применяется и в системах автоматич. поиска (САП). На рис. 6 показана, напр., структурная схема системы автоматич. оптимизации, задача к-рой состоит в автоматич. приведении выходной величины Q объекта к минимуму. Обычно Q наз. критерием оптимальности. Пусть $x_1, x_2, \ldots, x_n$ — входные величины объекта B; Q — заранее неизвестная ф-ция входов $x_1, x_2, \ldots, x_n$, т. е.

$$Q=Q(x_1, x_2, \ldots, x_n). \qquad (5)$$

Величина Q, измеренная на выходе объекта B, поступает на вход автоматич. оптимизатора A, к-рый путем автоматич. поиска приводит величины $x_1, x_2, \ldots, x_n$ к окрестности минимально возможного значения Q.

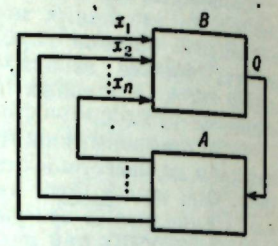


Рис. 6.

О. с. в САП позволяет скомпенсировать влияние помех, деформирующих характеристики объекта B.

О. с. может применяться не только для управления, но и для изучения нек-рого объекта B. Для примера на рис. 7 дана структурная схема установки с самонастраивающейся моделью M. На входы M и B подается одна и та же величина x. Выходы y и y_M объекта B и модели M сравниваются в устройстве L, вырабатывающем критерий Q рассогласования объекта и его модели. Если B и M одинаковы, то $y=y_M$, и критерий Q достигает минимума. При расхождении хар-к B и M величина Q увеличивается. Эта величина поступает на вход автоматич. оптимизатора A, к-рый изменяет параметры $x_1, x_2, \ldots, x_n$ настройки модели M, ее хар-ки, а может быть, и структурную схему с тем, чтобы привести Q к минимуму.

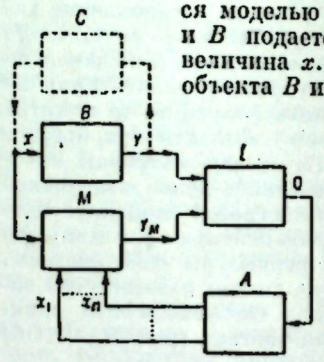


Рис. 7.

В данном случае цепь О. с. замыкается через L, A и M. Кроме того, возможно, что иная цепь О. с. через звено C соединяет выход y объекта C с его входом; эта цепь не имеет прямого отношения к замкнутой цепи О. с. через самонастраивающуюся модель M, но может оказать влияние на процесс самонастройки.

Обратная связь в биологических системах. Изучение биологич. объектов позволяет выделить большое количество разнообразных систем с замкнутым циклом воздействия. В процессе жизнедеятельности живого организма целый ряд параметров поддерживается в определенных достаточно узких пределах, несмотря на то, что организм находится под влиянием большого числа внешних воздействий.

К числу такого рода регулирующих систем относятся: система регулирования темп-ры тела, регулирование содержания сахара в крови, регулирование освещенности сетчатки глаза и т. п. [6, 11].

Рассмотрим в качестве примера систему регулирования темп-ры организма. Отклонения температуры организма от нормы воздействуют на теплорецепторы, расположенные под кожей и передающие по нервам сигналы в центры терморегуляции, или непосредственно на центры терморегуляции, располож. в

гипоталамусе. Центры терморегуляции, управляя системой двигательных нервов, а также посредством вегетативной нервной системы изменяют состояние сосудов кожи, функционирование потовых желез, интенсивность процессов окисления в мышцах и внутр. органах т. о., чтобы свести отклонения темп-ры от нормы к допустимому значению. В рассмотр. примере выходная величина — темп-ра организма, зависит от состояния терморегулирующих органов (прямая цепь воздействия от центров терморегуляции) и находится под воздействием внешних помех (темп-ра окружающей среды). Цепь О. с., идущая от терморецепторов к центру терморегуляции, несет информацию о фактич. состоянии выходной величины (темп-ры тела).

Особенностью биологич. регуляционных систем является большое число различных О. с., а также большое число совместно работающих исполнит. устройств.

Др. хорошо известный пример биологич. системы регуляции с О. с. — система построения и регуляции движений живыми организмами, в к-рой О. с. играет определяющую роль [12, 13]. Сигналы о положении тела при выполнении движения от кинестатич. рецепторов мышц и зрит. рецепторов поступают в центр. нервную систему, где сравниваются с заданными (требуемыми) значениями, определяемыми стереотипом движения. Выработанные т. о. корректирующие сигналы, управляя сокращениями мышц, обеспечивают выполнение движения.

Обратная связь в смешанных системах. О. с. имеет место также и при функционировании сложных систем, состоящих из объектов различной природы, но действующих целенаправленно. Такими являются системы: оператор (человек) и машина, учитель и ученик, лектор и аудитория, человек и обучаемое устройство (персептрон).

Во всех этих примерах мы имеем дело с замкнутой цепью воздействий, с наличием О. с. По каналам О. с. оператор получает информацию о характере функционирования управляемой машины, обучающий — информацию о поведении ученика и о результатах обучения и т. п. Во всех этих случаях в процессе функционирования существенно изменяются как содержание информации, передаваемое по каналам О. с., так и сами каналы. Очень часто О. с. в процессе функционирования подобных систем на нек-рое время выключается, и управляемая система функционирует автономно.

Разнообразные сложные О. с. можно обнаружить и в экономич. жизни об-ва. Так, в экономич. лит-ре под назв. «свиного цикла» [6, стр. 33—35] описывается зависимость, устанавливающая равновесие между ценой на свиней и численностью поголовья свиней в нек-ром изолиров. р-не. Рост цен влечет за собой увеличение поголовья, к-рое в свою очередь воздействует на цены, уменьшая их. Т. о., осуществляется устойчивое соотношение между ценами и поголовьем, взаимодействующими между собой по замкнутому контуру.

Подобного же рода циклич. процессы регуляции можно выделить, напр., при изучении процессов эволюции и наследственности. Развивающаяся популяция воздействует на окружающую ее среду (биогеоценоз), к-рая в свою очередь оказывает влияние на развитие особей, составляющих популяцию.

При рассмотрении нек-рой конкретной системы часто оказывается возможным выделить в ней более простые подсистемы и внешние по отношению к этим подсистемам О. с. Такое выделение более простых систем часто упрощает исследования, позволяя, напр., по хар-кам таких подсистем судить о поведении всей системы, ее устойчивости и т. п.

В теории оптим. систем показано, что в некоторых простейших случаях можно заменить систему с О. с. другой эквивалентной системой без О. с., реализующей те же процессы. Такие системы наз. приводимыми. Однако значительно более широким классом систем являются неприводимые системы, для к-рых не существует эквивалентной разомкнутой системы. Таков, напр., ряд систем, в к-рых реализуется *дуальное управление*.

Лит.: 1) Винер Н., Кибернетика и общество, [пер. с англ.], М., 1958; 2) Мееров М. В., Синтез структур систем автоматического регулирования высокой точности, М., 1959; 3) Хэммонд П. Х., Теория обратной связи и ее применения, пер. с англ., М., 1961; 4) Андронов А. А., Витт А. А. и Хайкин С. Э., Теория колебаний, 2 изд., М., 1959; 5) Процессы регулирования в биологии, [сб. ст.], пер. [с нем.], под ред. П. К. Анохина, М., 1960; 6) Процессы регулирования в моделях экономических систем. Сб. переводов, под ред. Я. З. Цыпкина и Б. Н. Михалевского, М., 1961; 7) Adaptive control systems, ed. by E. Mishkin and L. Braun, N. Y. [a. o.], 1961; 8) Фельдбаум А. А., О накоплении информации в замкнутых системах автоматического управления, «ИАН СССР. Сер. Энергетика и автоматика», 1961, №4; 9) Шаталов А. С., Структурные методы в теории управления и электроавтоматике, М.—Л., 1962; 10) Линч У., Теория линейной обратной связи, в кн.: Справочная книга по технике автоматического регулирования, [пер. с англ.], под ред. Дж. Дж. Тракселя, М.—Л., 1962; 11) Джерард Р., Функция человеческого тела, пер. с англ., М., 1947; 12) Бернштейн Н. А., Клинические пути современной биомеханики, в кн.: Сборник трудов Гос. Ин-та для усовершенствования врачей им. В. И. Ленина в Казани, т. I, Казань, 1929; 13) его же, О построении движений, [М.], 1947; 14) Завадовский М. М., Противоречивое взаимодействие между органами в теле развивающегося животного, М., 1941; 15) Анохин П. К., Физиология и кибернетика, «Вопр. философии», 1957, № 4.

М. Г. Гаазе-Рапопорт, А. А. Фельдбаум.

ОБРАТНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ ПЕРЕХОДА (reverse conduction voltage; tension de conduction inverse; Übergangs-Sperrspannung, Übergangs-Gegenspannung) — внешнее напряжение, увеличивающее *запирающий слой* p—n-перехода.

О. н. п. $U_{обр}$ повышает потенциальный барьер φ до величины $\varphi+U_{обр}$. Одновременно происходит расширение перехода, поскольку при неизменной концентрации примесей в кристалле большей высоте барьера соответствует больший пространств. заряд. Расширение перехода происходит гл. обр. в сторону высокоомного слоя с относительно невысокой концентрацией неосновных носителей заряда. Увеличение О. н. п. вызывает повышение напряженности поля в нем, что в итоге приводит к электрич. пробою перехода. Напряжение пробоя тем выше, чем бо́льшим уд. сопротивлением обладает высокоомный слой, напр.: база — у сплавных транзисторов, коллектор — у диффузионных.

Явление модуляции ширины перехода обратным напряжением — «эффект Ирли» (Erly) — обусловливает зависимость ряда параметров ПП прибора (барьерной и диффуз. емкости, сопротивления базы и т. д.) от напряжения на переходе. При достаточно тонкой базе этот эффект способен повлечь «смыкание» переходов, т. е. проникновение поля коллектора до границы эмиттерного перехода. Явле-

ние смыкания переходов вызывает особый вид электрич. пробоя — «прокол» («punchtrough») транзистора.

На принципе модуляции емкости p—n-перехода обратным напряжением основаны *варикапы* — конденсаторы с электрически управляемой емкостью.

Лит.: Яковчук Н. С., Челноков В. Е., Гейфман М. И., Плоскостные транзисторы, М., 1961.

А. А. Зайцев.

ОБРАТНЫЙ ТОК КОЛЛЕКТОРА (inverse collector current; courant de retour du collecteur; Kollektor-Rückstrom) — см. *Транзистора параметры.*

ОБРАТНЫЙ ТОК ПЕРЕХОДА (reverse conduction current; courant de conduction inverse; Übergangs-Gegenstrom, Übergangs-Rückstrom)—ток, протекающий через p—n-переход при приложении обратного напряжения. О. т. п. $I_{обр}$ связан с *обратным напряжением перехода* $U_{обр}$:

$$I_{обр}=i_s\left[\exp\left(\frac{q\,(\varphi-U_{обр})}{kT}-1\right)\right],$$

где q — заряд электрона, φ — высота потенциального барьера перехода, k — постоянная Больцмана, T — абс. темп-ра перехода. Интенсивное нарастание О. т. п. с увеличением обратного напряжения происходит лишь на начальном участке обратной ветви вольтамперной хар-ки перехода до напряжения порядка 0,3 *в*, после чего О. т. п. быстро достигает предела (ток насыщения i_s) и от обратного напряжения практически не зависит. Ток насыщения ярко выражен в германиевых *электронно-дырочных переходах*. В кремниевых — при увеличении напряжения наблюдается рост тока, пропорциональный ширине пространств. заряда. Это связано с резким увеличением генерации пар: электрон — дырка в области пространств. заряда у ПП с широкой *запрещенной зоной*.

Значение тока насыщения определяет гл. обр. концентрация неосновных носителей в высокоомной области перехода, где она существенно выше, т. к. произведение концентраций основных и неосновных носителей постоянно.

Др. факторами, влияющими на величину тока насыщения, являются времена жизни неосновных носителей заряда и их коэфф. диффузий. Т. о., плотность тока насыщения

$$i_s=q\left[n_p\sqrt{\frac{D_{np}}{\tau_n}}+p_n\sqrt{\frac{D_{pn}}{\tau_p}}\right],$$

где n_p и p_n — концентрации электронов в p-области и дырок в n-области; τ_n, D_{np}, τ_p, D_{pn}— соответственно время жизни и коэфф. диффузии электронов и дырок в тех же областях. Предполагается, что ширина каждой из областей $\geqslant\sqrt{D\tau}$.

При достаточно больших напряжениях наблюдается второй участок обратной ветви вольтамперной хар-ки перехода, характеризующийся резким снижением сопротивления, к-рый объясняется развитием пробоя перехода.

О. т. п. у реальных ПП диодов могут колебаться от тысячных долей до единиц *мка* в зависимости от вида ПП материала и площади перехода, а также возможного наличия поверхностного тока утечки. Малая величина О. т. п. обеспечивает повышенную теплоустойчивость прибора и свидетельствует о технологич. чистоте поверхности перехода. Значительное влияние на О. т. п. состояния поверхности и структурных дефектов кристалла обусловило широкое применение О. т. п. в качестве критерия годности ПП приборов при механич. и климатич. испытаниях, испытаниях на длительную работу и хранение и т. п.

Лит. см. в ст. *Обратное напряжение перехода.*

А. А. Зайцев.

ОБУЧАЕМАЯ МАШИНА (learning machine; machine à apprentissage; lernende Maschine) — технич. устройство, улучшающее свои хар-ки в процессе работы, причем конструктор закладывает в машину только методы изменения ее хар-к, пригодные для определенного, но достаточно широкого класса внешних условий; сведения о том, каковы эти условия в данный момент, а следовательно, и каковы должны быть хар-ки машины, обеспечивающие ее качественную работу, накапливаются самой машиной. Первоначально О. м. создавались только для имитации процессов обучения, характерных для человека. В наст. время они уже находят применение в технике, напр. для автоматич. управления сложными объектами.

Как правило, в каждой О. м. можно выделить «вход», через к-рый на машину действуют внешние возмущения (или среда), и «выход», через к-рый машина реагирует на внешние возмущения. Кроме того, машина, обычно извне, получает сигнал («поощрение»), характеризующий эффективность ее работы. Машина должна установить такое преобразование входных воздействий в выходные, чтобы эффективность работы была наилучшей. Поскольку вначале машина ничего «не знает» об условиях, в к-рых она работает, то для установления требуемого преобразования она использует тот или иной вид *поиска автоматического*. По мере работы в конкретных условиях О. м. накапливает опыт, область поиска сужается, он становится все более целеустремленным. Разработаны О. м. для моделирования сложных условных рефлексов; для поиска кратчайшего пути между двумя площадками лабиринта (*Шеннона лабиринт*); для доказательства теорем; для регулирования объектов, хар-ки к-рых неизвестны или медленно меняются по неизвестному заранее закону; различные машины, обучающиеся распознаванию образов (*узнающие машины*), и др. В этих машинах используются следующие методы накопления опыта.

1. Пусть на входе машины появляются ситуации $a_1, a_2, \ldots, a_n$ (их конечное число), а на выходе может появляться также конечное число ситуаций $b_1, b_2, \ldots, b_m$. Так, у машины для моделирования условных рефлексов ситуациями на входе являются отдельные внешние раздражители, а ситуациями на выходе — реакция машины на эти раздражители. Машина должна найти нек-рое конкретное преобразование множества ситуаций на входе $\{a_1, a_2, \ldots, a_n\}$ в множество ситуаций на выходе $\{b_1, b_2, \ldots, b_m\}$, т. е. после обучения при появлении на входе ситуации a_i машина должна отвечать такой реакцией b_j, к-рая задается искомым преобразованием (может оказаться, что последнее разрешает «отвечать» на какую-то ситуацию на входе одной из нескольких реакций, тогда машина должна найти хотя бы одну из них).

Пусть сигнал «поощрения» поступает каждый раз, когда машина при появлении к.-л. ситуации на входе отвечает такой ситуацией на выходе, к-рая разрешается искомым преобразованием. Если машина полностью «угадает» преобразование, то она будет правильно реагировать, а следовательно, получать сигнал «поощрения» при любой ситуации на входе. Обычно используется следующий алгоритм, основ. на полном переборе всех возможных комбинаций «вход — выход». На каждую ситуацию на входе машина случайно выдает нек-рую ситуацию на выходе. Т. к. число входных и выходных ситуаций конечно, то при каком-то входе машина «угадает» требуемый выход и, следовательно, получит сигнал «поощрения». Запомнив те ситуации на входе и на выходе, при к-рых она получила сигнал «поощрения», машина в дальнейшем при появлении этих же ситуаций на входе, выдаст ситуацию на выходе не случайно, а уже в соответствии с тем, что хранится в ее памяти. В конце концов она запомнит все требуемые пары и при любом входе не будет делать ошибок. В процессе обучения машина может запоминать не только «удачную» реакцию, но и «неудачную», т. е. такую, когда она не получает сигнала «поощрения», с тем чтобы в дальнейшем выбор вести среди меньшего числа реакций.

2. Пусть к машине предъявляются те же требования, что и в предыдущем случае, но необходимое преобразование медленно меняется заранее неизвестным образом. Тогда может быть использован следующий метод накопления опыта: вначале на любой вход машина равновероятно выдает любой выход. Если сигнал «поощрения» не поступил, то она изменяет вероятности появления выходных ситуаций при данном входе так, что вероятность появления в следующий раз при той же ситуации на первом выходе уменьшается, а остальных — соответственно повышается. Если же сигнал «поощрения» поступил, то вероятность появления этой ситуации на выходе при данном входе повышается, а остальных — уменьшается. Если преобразование не меняется со временем, то вероятность его реализации стремится к единице. Такой метод накопления опыта используется в машинах для доказательства теорем. Он может быть использован в оптимизаторах со случайным поиском. Пусть оптимизатор осуществляет поиск мелкими шагами, причем направление движения выбирается случайно, и пусть на каждом шаге оптимизатор получает сигнал поощрения, если он приближается к экстремуму, и не получает — в противном случае. Вероятность выбора того или иного направления изменяется в зависимости от того, как часто раньше движение по этому направлению приводило к успеху (как было описано выше). Если ф-ция, экстремум к-рой ищется, достаточно гладкая, то такой метод приводит к повышению скорости поиска.

3. При применении обучающихся автоматич. регуляторов, работающих по принципу компенсации возмущений, часто встречается случай, когда возмущающее воздействие на входе и управляющее воздействие на выходе регулятора являются непрерывными величинами, а искомое преобразование — заранее неизвестная непрерывная ф-ция. Поскольку при любом способе поиска за любое конечное время машина может найти значение этой ф-ции только в конечном числе точек, то значение ф-ции в остальных точках может быть найдено приближенно путем интерполяции.

На рис. 1 показана схема обучающегося регулятора, предназначенного для поддержания экстремума выходного параметра объекта, хар-ка к-рого медленно заранее неизвестным образом меняется со временем. Предполагается, что возмущающее воздействие можно измерять и что в каждый момент величина управляющего воздействия, обеспечивающая поддержание экстремума регулируемого параметра, в осн. зависит от величины возмущающего воздействия. Эта зависимость и есть искомая хар-ка объекта.

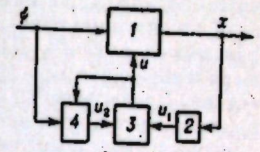


Рис. 1. Схема обучающегося регулятора: x — регулируемый параметр.

На объект *1* действует внешнее возмущение ψ и суммарное управляющее воздействие $u=u_1+u_2$, где u_1 — управляющее воздействие экстремального регулятора, а u_2 — блока накопления опыта. Зависимость u от ψ и является искомой неизвестной ф-цией. Сначала $u_2=0$ и требуемое управляющее воздействие находится с помощью экстрем. регулятора *2*. В блоке накопления опыта *4* запоминаются действующее возмущение и управляющее воздействие, скомпенсировавшее это возмущение. При изменении возмущения регулятор *2* находит новое управляющее воздействие, оно также запоминается в блоке *4* и т. д. Через нек-рое время машина запомнит значение искомой ф-ции в неск. точках. Вся область значений возмущения разбивается на конечное число интервалов. Внутри каждого интервала строится прямая, близкая к найденным значениям. По мере работы, т. к. хар-ка объекта меняется, управляющее воздействие может значительно отклониться от построенной ф-ции, но тогда и сама ф-ция перестроится. Т. о., если хар-ка объекта изменяется достаточно медленно, то и построенная ф-ция будет меняться, оставаясь достаточно близко к хар-ке объекта в данный момент. Теперь, когда на входе появляется новое возмущение, управляющее воздействие $u=u_2$ находится по построенной ф-ции. Т. к. это управляющее воздействие близко к требуемому, то возмущение в осн. будет отрабатываться за счет него, а следовательно, время поиска экстрем. регулятора будет уменьшаться, объект будет регулироваться лучше.

4. При работе с классифицирующей машиной на ее входе появляются различные ситуации, разбитые оператором на нек-рое конечное (относительно небольшое) число классов. Количество же возможных ситуаций на входе машины, относящихся к каждому классу, столь велико, что за время обучения может появиться лишь незначит. их часть. В процессе обучения оператор сообщает машине при помощи сигнала поощрения, к какому из классов относится имеющаяся в данный момент на входе ситуация. Выходной сигнал машины показывает, к какому классу она отнесла данную ситуацию на входе. Заранее неизвестны те классы, к-рым машина должна будет учиться в данном эксперименте, т. е. неизвестно, какой сигнал на выходе машины должен появиться при возникновении каждой конкретной ситуации на входе.

Алгоритм работы машины должен быть таков, что после того, как на входе машины возникло нек-рое число ситуаций и с помощью сигнала поощрения ей сообщено, к какому классу каждая ситуация относится, она должна в подавляющем большинстве случаев правильно указывать, к какому классу относится вновь возникающая ситуация на входе, даже если эта ситуация ранее не имела места. Примером может служить ЦВМ, изменяющая или вырабатывающая программу в ходе решения задачи. После решения ряда задач эта машина накопит опыт в виде набора выработанных ею программ. При решении новой задачи машина в первую очередь должна определить, «похожа» ли эта новая задача на к.-л. из решенных ею ранее, и если это так, то попробовать применить уже имеющуюся программу. Однако заранее неизвестно, какие задачи машина должна считать «похожими». Т. о., опыт машины должен включать не только набор программ для решения конкретных задач, но и нек-рую, также вырабатываемую в процессе работы, программу, позволяющую разбивать все множество поступающих для решения задач на классы «похожих». Другой пример — машина для управления технологич. объектом, к-рая вырабатывает программу на основе действий оператора в разных условиях. Но, как правило, невозможно зарегистрировать в памяти машины действия оператора при всех мыслимых условиях — их слишком много. И в этом случае машина должна разбить все множество различных комбинаций показаний приборов на классы, соответствующие одинаковым требуемым управляющим воздействиям.

Примером классифицирующей машины является т. н. пандемониум (рис. 2). Вход машины образуется r датчиками $Д$, состояние

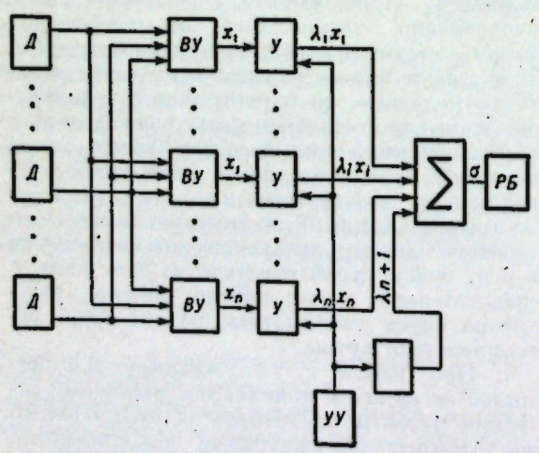


Рис. 2. Схема классифицирующей машины — пандемониума; Σ — сумматор.

к-рых — ситуация на входе — описывается вектором $(u_1, u_2, \ldots, u_r)$. На входе машины возникают ситуации, к-рые разбиты на 2 класса. После окончания процесса обучения на выходе решающего блока $РБ$ машины при появлении ситуации на входе, относящейся к 1-му классу, должен появиться один сигнал, а при появлении ситуации на входе, относящейся ко 2-му классу,— другой. Каждый раз, когда машина ошибается, на $УУ$ поступает сигнал. Если образовать n ф-ций от состояния датчиков

$$x_i = f_i(u_1, u_2, \ldots, u_r), \quad i = 1, 2, \ldots, n,$$

то каждой ситуации на входе соответствует нек-рая точка в пространстве $\{x\}$ с координатами $x_1, x_2, \ldots, x_n$. Пусть ф-ции f_i (реализуемые вычислит. устройствами $ВУ$) таковы, что в пространстве $\{x\}$ можно выбрать две такие области E и E', что, во-первых, точки, соответствующие ситуациям, относящимся к одному классу, лежат в одной области, а соответствующие ситуациям, относящимся к разным классам, лежат в разных областях и, во-вторых, существует множество гиперплоскостей, разделяющих области E и E' (рис. 3). Фактич. положение областей E и E' в пространстве неизвестно. Если гиперплоскость $\sum_{i=1}^{n}\lambda_i x_i + \lambda_{n+1} = 0$ проходит между областями E и E', то линейная ф-ция $\delta = \sum_{i=1}^{n}\lambda_i x_i + \lambda_{n+1}$ принимает положит. значения на одной из областей и отрицательные — на другой. Если нек-рая гиперплоскость задается совокупностью коэфф. $\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_{n+1}$, то совокупность коэфф. $\alpha\lambda_1, \alpha\lambda_2, \ldots, \alpha\lambda_{n+1}$, где $\alpha > 0$, задает ту же гиперплоскость. Т. о., каждой гиперплоскости в пространстве $\{x\}$ соответствует в $(n+1)$-мерном пространстве $\{\lambda\}$ прямая, проходящая через начало координат, а это значит, что совокупности плоскостей, разделяющих две области в пространстве $\{x\}$, соответствует в пространстве $\{\lambda\}$ нек-рый гиперконус с вершиной в начале координат.

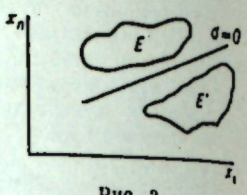


Рис. 3.

Задача классифицирующей машины заключается в переводе произвольного вектора $\lambda = (\lambda_1, \lambda_2, \ldots, \lambda_{n+1})$ (реализуемого усилителями $У$) внутрь этого гиперконуса. Критерием удаленности текущего значения вектора от этого гиперконуса является число ошибок за серию испытаний. Вектор λ изменяется воздействием $УУ$. Т. о., $УУ$ является оптимизатором нек-рой ф-ции (число ошибок), зависящей от вектора λ. Выход $РБ$ определяется знаком σ.

Лит.: Брайнес С. Н., Напалков А. В., Свечинский В. Б., Ученые записки (проблемы нейрокибернетики), М., 1959; Gelernter H., Realization of a geometry theorem proving machine. International conference on information processing. UNESCO, Paris, 15—20 june 1959, p. 273—82 (Международная конференция ЮНЕСКО по проблемам передачи информации, Париж, 1959); Бонгард М. М., Моделирование процесса узнавания на цифровой счетной машине, «Биофизика», 1961, т. 6, вып. 2; Браверман Э. М., Некоторые вопросы построения машин, классифицирующих объекты по не заданному заранее признаку, «АиТ», 1960, т. 21, № 10; его же, Опыты по обучению машины распознаванию зрительных образов, там же, 1962, т. 23, № 3; Буш Р., Мостеллер Ф., Стохастические модели обучаемости, пер. с англ., М., 1962; Айзерман М. А., Опыты по обучению машин распознаванию зрительных образов, в сб.: Биологические аспекты кибернетики, М., 1962; Варшавский В. И., Воронцова И. П., Цетлин М. Л., Обучение стохастических автоматов, там же; Selfridge O. G., Pandemonium: a paradigm for learning, в кн.: Mechanisation of thought processes, Proceedings of a symposium held at the national physical laboratory on 24th—27th november 1958, v. 1, L., 1959.

Э. М. Браверман.

ОБУЧАЮЩАЯ МАШИНА (teaching machine; machine enseignante; lehrende Maschine) — машина для обучения людей фактам и навыкам. Учащиеся должны обучаться фактам (таким, как математич. ф-лы или, вообще говоря, принципы решения проблем) и практич. навыкам (умению, мастерству), основанным на приложении фактич. знаний.

Обычно человек-преподаватель обучает фактам и помогает учащимся приобрести навыки (умение, мастерство). Но и в том и в другом случае его часто может заменить О. м. Иногда машинное обучение представляется более эффективным, чем самое хорошее обучение, осуществляемое человеком: наиболее эффективное обучение предполагает индивид. подход и внимание к каждому отдельному учащемуся. Для этой цели нет возможности иметь достаточное количество преподавателей, но можно располагать любым количеством О. м.

О б у ч е н и е ф а к т а м. Учитель должен информировать и опрашивать (проверять, как усвоен учебный материал). Поэтому любой вид обучения требует программы, разработки учебных вопросов, подготовки материалов (в письм. виде, в виде графиков или иллюстраций), описывающих принципы (напр., подстановку при решении ур-ний или понятие валентности в физич. химии), а также проверочных вопросов для выяснения того, усвоил ли обучающийся эти принципы или нет. Если обучение механизировано, то учебный материал либо проецируется на экран, либо демонстрируется с помощью автоматич. показа карточек. Удобно (это не относится лишь к технике Скиннера, к-рая будет описана ниже) использовать вопросы, предполагающие выбор ответа (после каждого вопроса студенту предлагается несколько альтернативных ответов, названных, напр., A, B, C, D). В этом случае, если машина знает правильный ответ на каждый вопрос (в закодированном виде на перфоленте или на магнитной ленте), она может сразу сравнить с ним фактич. ответ учащегося и выявить любое расхождение. Учащемуся в дополнение к показу учебного материала можно еще сообщать результаты проверки его знаний или указывать, какова его ср. успеваемость.

Машины для обучения фактам предлагают последовательность разделов учебного материала и сведения о результатах учебы (не обязательно!) как запрограммированную ф-цию сравнения заданий. Конструкция этих машин зависит от ограничений, наложенных на программиста. Многие из них механически тривиальны (и тем не менее они полезны, поскольку, пожалуй, простые виды программ и оказываются эффективными). Наиболее многосторонним из имеющихся устройств является «Автотьютор».

М е т о д ы п р о г р а м м и р о в а н и я. В наиболее простых программах, впервые использованных в 1920-х гг. Пресси и его сотрудниками, разделы учебного материала находились в заранее определ. последовательности, к-рая эмпирически признана «оптимальной». Если учащийся успешно усвоил данный раздел, ему предъявляется следующий из этой последовательности, если же нет, то снова тот же. Вся последовательность может быть повторена. Шагом вперед в этом отношении являются такие машины, как «Subject Matter Trainer» Бригса. Они сконструированы т. о., что при повторении всей последовательности разделов пропускают те из них, к-рые были успешно усвоены. Скиннер отстаивает программы последовательного типа с предоставлением учащемуся полных сведений о результатах после каждого шага. Он разбивает материал на очень мелкие смысловые единицы, чтобы снизить долю ошибочных ответов, исходя из того, что процесс обучения ускоряется, когда доля ошибочных ответов учащегося низка. Поскольку темпы учебы регулируются человеком, пользующимся машиной, то учащийся, обладающий хорошей базой, быстро проходит курс и, во всяком случае, не скучает. Скиннер предпочитает самостоят. ответы (учащийся записывает свой собственный ответ, а не выбирает его из набора альтернатив), т. к. альтернативы могут подсказывать немыслимые ошибки. Но в этом случае система может быть лишь частично механизированной.

Далее следуют дифференцир. программы, к-рые предусматривают специфичную форму коррекции, основанную на более детальном сравнении фактич. и идеальных ответов на вопросы (решений задач). Если сделана ошибка, то машина вместо простого повторения раздела предъявляет корректирующую последовательность разделов, избранную в соответствии с характером ошибки.

К любому из этих методов может быть предъявлен упрек, что «оптимальная» последовательность заранее предопределена. На практике индивид. различия между учащимися могут оказаться преобладающими, и оптим. метод обучения может быть уточнен только для определ. категории лиц; однако хар-ки учащихся заранее неизвестны. Соответственно нек-рые дифференцир. программы имеют более сложную структуру. Они состоят из ряда параллельных подпрограмм, пригодных для любого типа учащихся, а процедура опроса (проверки) предусматривает выбор не только требующейся коррекции, но также и наиболее эффективной подпрограммы с учетом индивид. особенностей учащегося.

Машины, способные осуществить необходимую переработку информации, дорого стоят, поэтому целесообразно использовать вычислит. машину в качестве централизов. устройства с периферич. пультами для показа материала и дачи ответов. Наиболее совершенной системой является О. м. «Plato» в Иллинойском ун-те. Материал демонстрируется на телевиз. экране, а ответ учащийся дает, пользуясь клавиатурой типа пишущей машинки. Подобная же установка разрабатывается фирмой «System Development Corporation». Следует полагать, что централизов. установки вытеснят О. м. для индивид. обучения. В любом случае необходимо предусмотреть регистры памяти для запоминания поведения каждого индивидуума.

Р е з у л ь т а т ы э к с п е р и м е н т о в. Нелегко дать оценку О. м., ибо результаты их использования хотя и существенны, но часто несравнимы. Лучшие программы в значит. степени основываются на интуиции. Поэтому нет четкого определения задач, к-рые программа должна выполнять, и критерия, на основании к-рого можно было бы судить о выполнении ею этих задач. Слишком уж мало известно о том, как люди учатся в школе, и одно из достоинств О. м. заключается в их потенц. воз-

можностях (при оснащении запоминающей и записывающей аппаратурой), как источника систематич. сравнит. данных. Совр. теоретич. база в этой области неудовлетворительна, хотя работы Кейа, Аннета и Рида в Англии и ряда ученых в США способствуют ее улучшению. Многие программы исходят в какой-то мере из теории условных рефлексов Павлова и его последователей, многие другие — из теории условных операндов, нек-рые — из концепций хьюлянской психологии, но теоретич. базис эффективного обучения все еще не ясен.

Получ. результаты показывают, что хорошая программа может вдвое повысить скорость обучения без серьезного ограничения способности вспоминать или применять выученный материал, что является весьма существ. успехом. Относит. достоинства различных видов программ зависят от характера учебного материала и таких параметров человека, как уровень общей подготовки и индивид. особенности, но эти зависимости можно предсказать лишь в огранич. степени. И, наконец, имеются данные, что машинное представление запрограммиров. материала значительно превосходит др. методы.

Обучение навыкам (умению, мастерству). Программа тренировки состоит из последовательности проблем, типичных для ситуаций, встречающихся в реальной жизни при выполнении ф-ций, требующих определ. навыков. От учащегося требуется, чтобы он решил эти проблемы путем, удовлетворяющим нек-рым критериям оценки его работы. Хотя проблемы, ставящиеся в процессе тренировки, сохраняют логич. форму проблемных ситуаций реальной жизни, они часто упрощаются. Так, напр., учащийся может получить информацию, к-рая частично предопределяет правильное решение задачи, или же ему предоставляется для решения более длит. время, чем это бывает на практике. Если требования, относящиеся к навыку, могут быть сформулированы, то всегда возможно вычислить меру умения (опытность), исходя из поведения учащегося при выполнении им программы тренировки. А поскольку последовательность проблем аналогична последовательности разделов учебной программы (отличаясь лишь тем, что осн. принципы предполагаются уже известными), то эта мера умения аналогична результату опроса.

Аппарат, используемый для обучения, является своего рода моделью. При обучении пилотов — это модель самолета, при обучении инженеров-производственников — это нек-рая модель оборудования, которое они должны обслуживать. Но модель не следует смешивать с О. м., к-рая как инструктор сама действует на модель с целью модификации ее параметров: напр., при обучении работе с оборудованием, для определения того, какие неисправности (к-рые учащемуся предстоит устранить) должны появиться в моделируемом оборудовании. Вообще говоря, О. м. определяет вид проблемы, к-рая ставится, место тренировочной программы, в к-ром эта проблема появляется, и степень упрощения реальной жизненной (моделируемой) ситуации. Машина определяет все это как ф-цию вычисляемой через дискретные промежутки времени меры умения (опытности) учащегося. Если эта ф-ция заранее определена, то соответствующая машина будет просто более специализиров. моделью. Было бы рационально построить такую машину, если бы мы знали, что хар-ки учащегося инвариантны и что индивид. различия не существенны. Но опыт противоречит этим гипотезам, по крайней мере, при обучении большинству навыков.

Поэтому системы обучения навыкам часто являются самонастраивающимися устройствами, к-рые в первую очередь экспериментируют с различными условиями обучения (тренировки), а затем подстраивают эти условия так, чтобы максимизировать соответствующий показатель умения учащегося. Имеется, напр., несколько амер. машин (наз. самонастраивающимися моделями транспортного средства — adaptive vehicle simulators), к-рые подстраивают параметры в информац. цепи обратной связи задачи слежения т. о., чтобы минимизировать ср. отклонение от заданного курса моделируемого транспортного средства, ведомого учащимися.

В лаборатории автора (Англия) уже с 1954 ведутся работы над самонастраивающимися обучающими системами с использованием кибернетич. подхода. Обучение рассматривается как управление учебным процессом. Однако, в отличие от большинства систем управления, здесь мы не можем предположить, что непрерывная информац. обратная связь соединяет учащегося с моделью. Это действительно будет иметь место только при условии поддержания внимания учащегося; поэтому необходимым свойством высококачественной системы обучения должно быть создание интересной (с т. зр. учащегося) обстановки. Далее, система должна стремиться к максимизации темпов обучения учащегося. Фактически эти процедуры не разделимы, т. к. учащийся «играет» с самонастраиваемостью системы. Взаимодействие машины и человека (см. *Система «человек — автомат»*) приобретает логич. характер «бессловесного» собеседования, в к-ром устойчивость достигается за счет компромисса между человеком и машиной.

Самонастраивающиеся системы. Одна из самых простых самонастраивающихся машин используется для обучения навыку «быстрого чтения» — это применяемая в Америке техника чтения, заключающаяся в очень быстром просмотре (сканировании) письм. материалов с извлечением из них при этом значимой информации. Обычно этому навыку обучают группу учащихся, используя спец. проектор, к-рый последовательно один за другим показывает отрывки текста (часто по половине строчки) так, что исключаются движения глаз, называемые обратным слежением. Скорость сканирования и длина отрезков задаются инструктором в зависимости от результатов периодич. тестов на понимание. Инструктор может также вводить различные типы текстов, напр. технич. доклады на различные темы.

О. м. является индивид. устройством. Перед учащимся находится просвечивающий экран, на к-ром появляются отрезки текста; сбоку лежит несколько стопок (в простейшем случае две) карточек-упражнений X и Y. Над каждой стопкой имеется сигн. лампочка. Когда она загорается, учащийся должен взять карточку-упражнение (текст на карточках становится видным только при освещении их сзади) и вложить ее в машину. Последовательность отрезков показывается затем со скоростью, определяемой самонастраивающейся частью системы. После того как материал «просканирован», освещается вопросник с тестами на понимание. Он записан на карточке-упражнении, на к-рой имеется также закодиров. изображение правильного ответа. Учащийся выполняет тест и нажимает спец. кнопки, сообщая этим о выборе одного из альтернативных ответов, после чего машина оценивает его успехи. Когда тест окончен, учащийся вынимает карточку и кладет ее в обработанную стопку, причем это его действие регистрируется электрич. цепью. По приеме этого сигнала самонастраивающаяся машина выбирает сигн. лампочку, укрепленную к одной из двух стопок X и Y карточек-упражнений, и определяет параметр «скорость сканирования» как ф-цию результата последнего теста и результатов, получ. в предыдущих случаях, когда выбиралась именно эта стопка. Этот цикл повторяется до тех пор, пока учащийся не приобретает хорошие навыки, хотя скорость обучения от этого несколько уменьшается.

Это устройство иллюстрирует нек-рые черты более сложных систем. В первую очередь налицо операция упрощения, а именно сокращение скорости показа текста. При обучении многим навыкам эффект такого приема зависит от достигнутой стадии обучения и должен быть обнаружен машиной. Далее, машина может оценить умение (опытность) учащегося по результатам тестов на понимание, а скорость изменения умения (опытности), аппроксимированная как ф-ция разностей, является хорошим показателем скорости обучения.

О. м. имеют свою стратегию упрощения проблем. Предположим, что скорость увеличивается бесконечно (миним. значение операции упрощения). Тогда материал станет непонятным (предельная скорость зависит, конечно, от умения учащегося на данной стадии обучения). И, наоборот, если скорость сокращена (макс. упрощение), нет места никакому усовершенствованию и учащийся скучает. Т. о., самонастраивающаяся О. м. должна сократить степень упрощения проблемы до предела, при к-ром показатель скорости обучения максимизирован. В этих условиях учащийся загружен соответственно своим способностям, и его внимание поддерживается на должном уровне.

Имеются спец. О. м. для обучения работе на конторских перфораторах и подготовке перфокарт для ввода в вычислительные машины. Перед учащимся расположен пульт. После выбора О. м. одного из 4 тренировочных упражнений, состоящих из последовательностей цифр и букв, этот ряд печатных знаков появляется на пульте и вдоль него начинает перемещаться спец. индикатор. Задача учащегося — нажимать на клавиатуре (напоминающей клавиатуру пишущей машинки) клавиши с теми знаками, у к-рых останавливается индикатор. Продолжительность остановок последнего определяется О. м. в зависимости от скорости реакции обучающегося.

Операция упрощения состоит в данном случае в предоставлении информации — подсказки. На вспомогат. пульте, представляющем собой точную копию осн. клавиатуры, у тех же клавишей, к-рые надлежит нажать на осн. клавиатуре, загораются сигн. лампочки. Частота «подсказок» определяется успеваемостью учащегося: в нач. период обучения показания индикатора полностью дублируются на сигн. пульте, после приобретения навыков сигнальные лампочки вообще не загораются.

При обучении навыкам работы с оборудованием типы проблем соответствуют типам неисправностей в моделируемом оборудовании; операция упрощения заключается в предоставлении дополнит. сведений о состоянии модели, к-рыми в практич. условиях лицо, занятое ремонтом, не могло бы располагать. Успехи учащегося измеряются сравнением его действий с логически оптим. стратегией (ремонт моделируется путем перемещения штеккеров, к-рые представляют компоненты оборудования на пульте). Самонастраивающееся устройство для овладения этим навыком должно иметь иерархию, по крайней мере, двух уровней управления и должно определять, по крайней мере, два ряда условных вероятностей появления неисправности. Др. системы были созданы для обучения таким разнообразным навыкам, как навыку делать научные выводы (умозаключения), координировать последовательности повторяющихся совокупностей преобразований, принимать решения по управлению произ-вом.

Конструктивные ограничения. Система может быть построена при условии, что: 1) навык, к-рому следует обучить, может быть сведен к конечному числу «поднавыков», для каждого из к-рых имеется проблема «упрощения операции», что возможно выявить относит. трудность «поднавыка» на любой стадии обучения и что имеются адекватные критерии квалифициров. выполнения этих же действий; 2) учащийся ведет себя при обучении навыку как самоорганизующаяся система (к-рая является хорошо определенным логич. понятием).

Условия 1) и 2) часто могут выполняться независимо от того, каков конкретный метод обучения. А если это так, то на кибернетич. основаниях этот метод может быть стабилизирован путем максимизации параметра «скорость обучения», и процесс практически удовлетворяет ограничению 1). Но условие 2) утверждает, что учащийся является самоорганизующейся системой; т. о., можно избежать спец. и трудного случая с учащимся и оперировать с ним как с самоорганизующейся системой. И на самом деле, термин «О. м.» может ввести в заблуждение. Такая самонастраивающаяся система устанавливает свое взаимодействие с учащимся, и при соблюдении конкретных краевых условий она «обучает». При других краевых условиях она может «опрашивать» или «ассистировать», содействуя образованию навыка (появлению умения).

Наконец, имеется интересная возможность групповой самонастройки. Нек-рые опыты, осуществл. в последнее время, показывают, что взаимодействие между группой индивидуумов может направляться управляющим автоматом так, что члены группы довольно эффективно учат друг друга через соответственно механизиров. каналы реакций (ответов). Автомат в этом случае не учит, а создает организацию, в к-рой студенты являются своими самыми лучшими инструкторами (учителями).

Г. Паск (G. Pask).

Опыт применения. Обучающие машины применяются для решения следующих задач: самостоят. изучение учащимся предмета при пост. самоконтроле; коллективное обучение при пост. индивид. контроле действий каждого учащегося; проведение контроля, экзамена, зачета и коллоквиумов; проведение консультации без присутствия преподавателя; самостоят. обработка навыков; оперативная проверка подготовленности отдельных лиц перед допуском к работе на сложных агрегатах.

О. м. подразделяются: по роду обучения (индивидуальное, групповое и поточное); по принципам программирования (линейная или разветвленная программа); по выполняемой функции в учебном процессе («Контролер», «Экзаменатор», «Репетитор», «Тренажер», «Лектор», «Консультант» и многорежимные машины); по принципу обучения (обучение по разомкнутому циклу — без обратной связи, и по замкнутому циклу — наличие прямой и обратной связи); по конструктивным особенностям (электромеханические, электронные, электронно-цифровые, аналоговые и моделирующие); по методу ввода (выборочный, численный, результативный и комбинированный); по методу воздействия (на органы зрения, на органы слуха и комбиниров. воздействие на органы зрения и слуха); по степени влияния на ход учебного процесса (машины с малой приспособляемостью, со ср. приспособляемостью, с полной приспособляемостью).

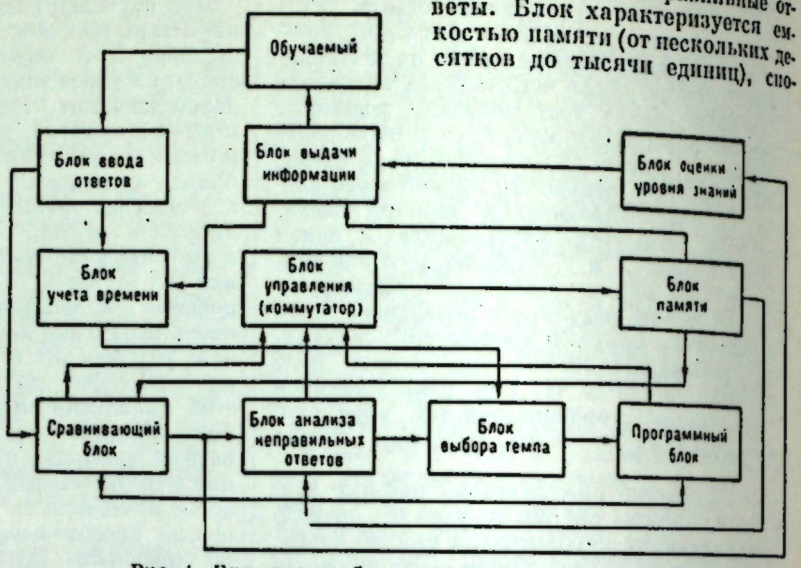


Рис. 1. Блок-схема обучающей машины «Репетитор».

Функционирование любой О. м. является лишь продолжением действий преподавателя, т. е. носит вторичный характер. Существ. влияние на улучшение учебного процесса О. м. оказывают благодаря тому, что они позволяют преподавателю установить контакт с каждым обучаемым, обеспечить систематич. и непрерывный контроль за процессом обучения (самообучения), обеспечить систематич. и активную работу учащихся.

Различные типы О. м. могут иметь различное число функцион. блоков. Например, блок-схема обучающей машины типа «Репетитор» (рис. 1) состоит из 10 блоков. Блок выдачи информации доводит до учащегося необходимую информацию о задаче, подлежащей решению, выдает методич. советы, «подсказки», исчерпывающие объяснения, оценку результатов и др.

Блок ввода ответов обеспечивает обратную связь между обучаемым и машиной, т. е. ввод информации в машину об уровне знаний обучаемого в виде ответов учащегося на поставл. задачи и вопросы.

Блок учета времени регистрирует и учитывает время, расходуемое на все этапы обучения (представление информации, решение обучаемым поставл. задачи, ввод ответа и др.). Блок используется также для накопления статистич. материала о процессе обучения.

Блок памяти хранит всю информацию по изучаемой теме, в т. ч. эталонные (правильные) и наиболее вероятные неправильные ответы. Блок характеризуется емкостью памяти (от нескольких десятков до тысячи единиц), способом запоминания (на магнитной ленте, диафильме, бумажной ленте, диске и в виде электрич. зарядов и др.) и временем выборки информации — скорость, с к-рой информация выбирается из машины и представляется учащемуся.

Программный блок обеспечивает в соответствии с программой машины извлечение из блока памяти нужной информации и передачу ее в сравнивающий блок (сравнивает ответ учащегося с эталонным ответом, хранящимся в блоке памяти), в блок анализа неправильных ответов (анализирует неправильные ответы и по результатам анализа воздействует на процесс обучения) и в блок выдачи информации.

Представление учащемуся информации в различных машинах происходит по-разному. При линейной программе порядок представления информации и вопросов строго определен и в процессе обучения не меняется. В этом случае из памяти выбираются пункты программы в том же порядке, в каком они туда были заранее заложены. При разветвл. программе добавляется дополнит. информация в виде методич. советов, «подсказок» или полных ответов. В этом случае лучше учитываются индивид. особенности учащегося и особенности данного предмета. Программа при этом предусматривает несколько путей решения задачи, и по каждому из этих путей О. м. действует соответствующим образом.

Блок управления (коммутатор) автоматически управляет работой О. м. Блок оценки уровня знания обеспечивает информацию по цепи обратной связи между О. м. и учащимся об уровне знаний последнего и сообщает ему оценку.

Блок выбора темпа проведения занятий приспосабливает машину к уровню знаний и способностям учащегося (в простейших машинах темп работы определяется самим обучаемым).

Эффект обучения на О. м. зависит от используемого в ней принципа программирования.

На рис. 2 изображены программы работы некоторых О. м., отличающиеся друг от друга характером реакции на неправильные ответы. На рис. 2, *а* показана линейная программа: учащемуся предлагаются вопросы 1, 2, 3 ... *n*. На каждый вопрос может быть дано несколько ответов (в данном случае три), из них один правильный (11, 21, 31 ... *n*1). Ответы 12, 13, 22, 23 ... *n*2, *n*3 — неправильные. Лишь после выбора правильного ответа машина разрешает переходить от *К*-го вопроса к *К*+1. При выборе неправильного ответа *К*2 или *К*3 машина рекомендует вернуться к *К*-му вопросу и добиться правильного ответа. Все неправильные ответы фиксируются О. м. и учитываются при оценке. На рис. 2,*б*— программа с небольшим разветвлением, позволяющая О. м. производить нек-рый «анализ» неправильных ответов. Так, после неправильного ответа 11, 21, 31 ... *К*1 обучаемому рекомендуется снова ответить на вопрос 1, 2, 3...*n*, а после неправильного ответа 13, 23, 33, ... *К*3 машина дает «подсказку» 6,7,8...*n*. После «подсказки» учащемуся предлагается снова ответить на вопрос *К* и после правильного ответа перейти к вопросу *К*+1.

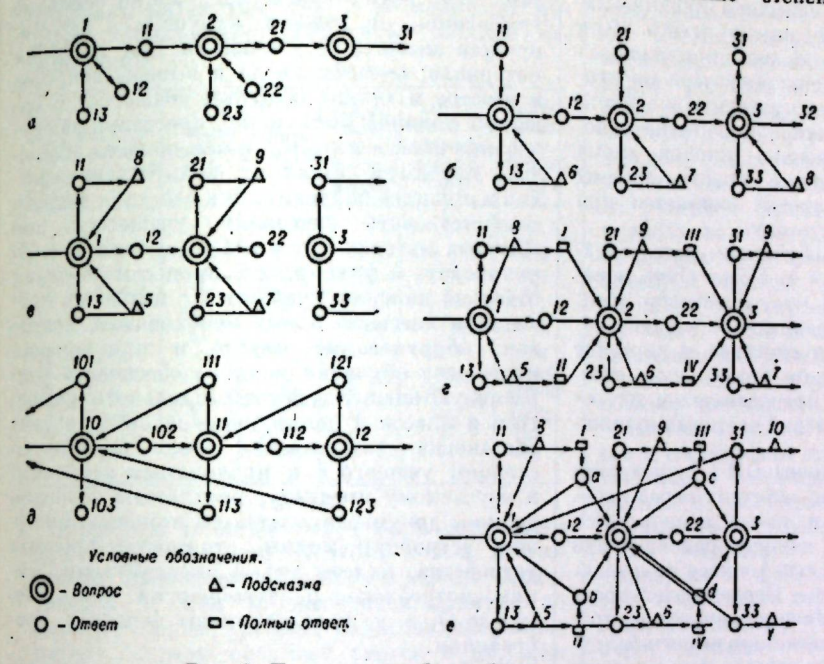


Рис. 2. Программы работы обучающих машин.

Процесс обучения по программе рис. 2,*в* протекает аналогично, но здесь на все ошибочные ответы дается «подсказка». При этом «подсказка» 5 отличается от подсказки 8. В программе рис. 2,*г* учитывается, что если учащийся дал неправильные ответы 5, 6, 7 ..., то ему О. м. выдает исчерпывающие объяснения (I, II, III ... *N*), после чего разрешает переходить к следующему вопросу. Дальнейшее развитие разветвл. программ — программа рис. 2, *д*. Она реверсивна, т. е. позволяет после неправильного ответа на *К*-й вопрос вернуться к предыдущим вопросам (к вопросам *К*1 или *К*2 и т. д.).

Разветвл. программа должна обеспечивать: возможность анализа неверных ответов и выдачу «подсказок» при неправильных ответах; возможность «реверсирования», т. е. возврата к уже рассмотр. вопросам, если окажется, что незнание тормозит дальнейший процесс обучения; возможность проверки понимания обучаемым исчерпывающих разъяснений, данных машиной. Разветвл. программа, удовлетворяющая этим требованиям, показана на рис. 2, *е*.

Чем больше степень разветвления, тем больше эффективность обучения. Однако большее разветвление программы усложняет конструкцию О. м.

Большинство обучающих машин требует для проведения на них занятий программированного материала; некоторые из них позволяют проводить занятия, используя существующие учебники и учебные пособия. С помощью О. м. изучаются общеобразовательные, специальные и профилирующие дисциплины. Как показал опыт, при применении О. м. значительно повышаются активность и самостоятельность учащихся, в результате чего повышается успеваемость.

При разработке О. м. предъявляются следующие основные требования: простота технического устройства, ускорение учебного процесса, освобождение преподавателя от рутинных работ, быстрый переход от одной программы к другой, простота кодирования вводных данных, быстрота выдачи результатов обучения, документирование результатов учебного процесса.

Дальнейшее развитие О. м. идет по пути создания малогабаритных машин на основе микромодульных элементов, создания управляющих приставок к типовым проекторам и магнитофонам, создания О. м., имеющих звуковое и световое воздействие, а также машин, реагирующих на голос обучаемого и выдающих информацию голосом. На базе простых кибернетич. устройств разрабатываются *обучающие автоматизированные классы* и на базе ЦВМ—*обучающие комплексы*. Измерит. аппаратура позволяет измерять количеств. данные о закономерностях, проходящих в системах обучения, и определять влияние различных факторов на этот процесс. Количеств. хар-ки процесса обучения окажут влияние на разработку теории обучения.

Дальнейшее развитие бионики, *информации теории*, *игр теории* и др. наук приведет к созданию О. м., к-рые с бо́льшим правом могут быть названы обучающими, т. к. они будут усиливать умственную деятельность учащихся (см. *Мыслительной способности усилитель*).

На отдельном листе показаны некоторые типы О. м. Обучающий контролирующий автомат ОКА-7-4 предназначен для контроля (коллоквиумы, зачеты по лабораторным работам, зачеты и т. п.) при программированном

обучении. Карточка-задание (с не более чем 10 вопросами) помещается на панели. Для перехода от одного вопроса к др. поворачивают переключатель с индикацией номера вопроса на панели. Количество ответов на каждый вопрос не более 5, из к-рых один правильный, остальные неправильные. Учащийся передает ответ нажатием кнопки, находящейся против выбранного ответа. При правильном ответе против заданного вопроса зажигается световая индикация. При переходе к следующему вопросу программа меняется. При неверном ответе или при попытке одновременно нажать несколько кнопок схема блокируется, и дальнейшее нажатие кнопок ничего не дает. Блокировка снимается при переходе к следующему этапу.

После выполнения обучаемым всего задания световая индикация не может быть изменена до переключения преподавателем спец. тумблера. Оценка выполненного задания может быть заранее предусмотрена в карточке в соответствии с числом правильных ответов или определяется преподавателем на основании анализа показаний световых индикаторов.

Контролирующая машина ОМ-1-2 проверяет знания на практических занятиях перед лабораторными работами, а также используется для самоконтроля. В машину одновременно вводится (при помощи телефонного номеронабирателя) 5 вопросов. Последовательность ответа произвольная. Машина определяет правильность ответа и оценивает его по пятибалльной системе. Результаты ответов фиксируются электрохимич. печатанием. Смена программ производится съемными элементами памяти правильных ответов. Совм. со спец. приставкой машина может работать по разветвл. программе. ОМ-1-2 выполнена на ПП и паратронах с холодным катодом.

Малогабаритная обучающая машина К-2 относится к классу контролирующих устройств. Метод ввода ответов — комбинированный (результативный, численно-кодированный и выборочный). Схема машины собрана на тиратронах с холодным катодом типа МТ Х-90. В машине имеется возможность вводить ограничение по времени (3 или 10 мин.) для ответа на вопросы. Возможность изменения ответа обучаемым исключается. Питание от сети 220 *в*. Потребляемая мощность 6 *вт*.

Т. И. Ростунов.

Лит.: Опыт применения машин для обучения в США, «ЗР», 1962, № 9 (имеется библ.); P a s k G., The teaching machine as a control mechanism, «Trans. Soc. Instrum. Technol.», June, 1960; е г о ж е, Teaching machines. Proceedings 2nd Congress International Association of Cybernetics, 1958.

ОБУЧАЮЩИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ КЛАСС (automatic teaching form; classe d'enseignement automatique; automatisierte Unterrichts-Klasse) — класс, предназначенный для автоматизации процессов обучения при непрерывном индивид. контроле учащихся в процессе обучения. Обучение в нем ведется при пост. участии преподавателя, к-рому в короткий промежуток времени поступает информация о ходе обучения каждого учащегося. На ее основе он оперативно вмешивается в процесс обучения и устраняет обнаруживаемые недостатки.

Объединение простейших *обучающих машин* (ОМ) системой связи в О. а. к. значительно повышает производительность труда преподавателя по сравнению с раздельным применением ОМ. В результате такого объединения ОМ позволяют проводить большее число различных видов учебных занятий и делают учебный процесс более динамичным и управляемым.

К обучающим автоматизированным классам были предъявлены следующие основные требования: не должен нарушаться естеств. процесс мышления учащегося при изучении материала; способы ввода и выводы вопросов и ответов и «язык» общения учащегося с машиной должны быть макс. простыми; оборудование класса и работа в нем должны обеспечить максимум самостоят. и активных действий в процессе обучения. Эти действия должны соответствовать действиям учащегося при обычных методах обучения и позволять контролировать и фиксировать процессы обучения отдельно каждого учащегося с целью их изучения и внесения в них необходимых поправок; оборудование класса и применяемая программа обучения должны обеспечить оперативную оценку действий отдельного учащегося и класса в целом; должна быть создана обстановка, вызывающая макс. интерес со стороны учащегося к проводимым занятиям, к изучаемому предмету; результаты обучения должны документироваться с помощью пишущих устройств; миним. стоимость, простота устройства, надежность в эксплуатации, миним. потребление электроэнергии. Пока еще не все О. а. к. удовлетворяют перечисл. требованиям.

Наиболее простым по устройству и наиболее удовлетворяющим перечисл. требованиям является класс ОАК-6 (см. рис. на отд. листе). Он рассчитан на одновременное обучение 26 чел., но может быть расширен (в разумных пределах). Класс имеет пульт преподавателя, пульты учащихся, двойное световое настенное табло, диапроектор, экран, системы питания, таблицы кодирования и регистрирующий прибор.

Пульт преподавателя позволяет установить программу правильного ответа для всех учащихся, индивидуализированно контролировать ход формирования и готовность ответа каждого учащегося, а также дистанционно управлять диапроектором и экраном. Пульт имеет реле ограничения времени, отводимого учащемуся для подготовки ответов.

Пульт учащегося предназначен для ввода ответов, для сообщения на пульт преподавателя о готовности ответов и для получения сигналов с пульта преподавателя, если учащийся дал ряд неправильных ответов или не уложился в отведенное время. Пульты учащегося и преподавателя имеют прямую и обратную связь.

Настенное световое табло (см. рис. на отд. листе) является копией светового табло на пульте преподавателя. На нем одновременно воспроизводятся результаты ответов всех учащихся. Когда истекает время, отведенное для ответа, преподаватель включает настенное табло, на к-ром загораются лампочки, подтверждающие правильные ответы учащихся. Одновременно от пульта преподавателя и табло отключаются пульты учащихся, в результате чего учащиеся лишаются возможности что-либо исправить на настенном табло. Каждый учащийся видит на этом табло результаты своей работы.

С помощью диапроектора на экране воспроизводится учебный материал в виде различных текстов, задач, примеров и вопросов для учащихся. Экран — белое полотно размером 2×2 *м*, прикреплено к алюминиевой трубе диаметром 25 *мм*, вращающейся через редуктор от мотора перем. тока мощностью 250 *вт*.

Для составления ответов, связанных с применением математич. ф-л и размерностей величин, применяется следующая таблица кодирования.

№ п. п.	Размерность величин	Знаки действия	Координаты	Символы электрич. цепей	Электрич. единицы и величины	Тригонометрич. ф-ции и др.
1	.	Σ	β	R	a	sin
2	$\div$	$\int$	ε	L	e	cos
3	об/мин	=	η	C	p	tg
4	мин	$\frac{d}{dt}$	j	Q	I	ctg
5	сек	+	i	τ	pF	sec
6	*м/сек*	−	k	μ	*гц*	cosec
7	*м*	:	D	e	*ом*	arcsin
8	*км*	$\sqrt{}$	$x(a)$	ω	*гн*	arctg
9	градус	$(\ )^n$	$y(b)$	t	U	ln
10	*от*	( )	$z(c)$	π	I	lg

Подобные таблицы могут быть составлены для любого предмета. Поэтому в О. а. к. возможно преподавать любой предмет. Практически в нем производятся занятия по иностр. языкам, физике, радиотехнике, математике, схемам сложных систем и др. Для перехода от преподавания одного предмета к другому достаточно заменить таблицу кодирования.

Регистрирующий прибор является самописцем, обеспечивающим регистрацию процесса обучения каждого отдельного учащегося. По записи, сделанной этим прибором, можно проследить динамику действий учащихся в процессе формирования ответов. Этот прибор «протоколирует» процесс обучения, а затем по нему производит необходимый анализ.

ОАК-6 конструктивно прост, надежен в эксплуатации и не требует особой профилактики. Недостаток класса — невозможность использования пульта учащегося автономно, как ОМ, а также единая программа работы для всех пультов учащихся.

На заданный вопрос преподавателя все учащиеся отвечают через свои пульты. Т. к. оценка действий каждого учащегося производится сразу же после сформирования им ответа, то действия обучаемых приближаются к их действиям при проведении зачетов и контрольных работ при обычном методе обучения. Учащийся все время активен в процессе обучения, а преподаватель в конце каждого занятия имеет полную информацию об успеваемости каждого учащегося.

В ОАК-6 проводятся следующие виды занятий: лекции, упражнения, семинары, контрольные работы и зачеты. Чтение лекций в О. а. к. несколько отличается от их чтения при обычном методе. Лекция разбивается на логически завершенные части; прочитав каждую часть, лектор задает вопрос всей аудитории. Вопросы задаются так же, как и при обычном методе обучения. На поставл. вопрос каждый учащийся отвечает с помощью своего пульта. По истечении времени, отведенного для ответа, преподаватель высвечивает результаты на настенном табло. Т. о., лектор в ходе лекции несколько раз проверяет, как аудитория усваивает лекционный материал и достаточно ли он доходчиво преподносится. Учащиеся, зная, что каждому из них придется отчитываться за каждую часть лекции в ходе этой же лекции, более внимательно слушают и записывают. Поэтому лекции проходят при большой активности. Записывающее устройство фиксирует результаты действий каждого учащегося во времени, что позволяет выявить характеры действий учащихся при формировании ответов и соответствующим образом влиять на них. На упражнениях в О. а. к. каждый из учащихся должен решить все задачи, а правильные и неправильные решения каждого из них будут немедленно объявлены всему классу и оценены преподавателем. Опыт показывает, что учащиеся в О. а. к. решают больше задач, чем в обычном классе, и более ответственно относятся к заданию. Учебный материал выносится на упражнения в большем объеме, чем обычно, и усвоение его выше.

На семинарах методика постановки вопросов и составления ответов такая же, как и на лекциях и упражнениях. После получения ответов и высвечивания результатов на настенном табло начинается обсуждение их самими учащимися. Преподаватель вызывает учащегося и требует объяснить, почему он так, а не иначе ответил на данный вопрос. Опыт показывает, что семинары в О. а. к. проходят активнее, более качественно и целеустремленно, чем в обычном классе. При проведении контрольных работ и зачетов в О. а. к. преподаватель получает результаты работы каждого учащегося на пульте или отпечатанные на бланке.

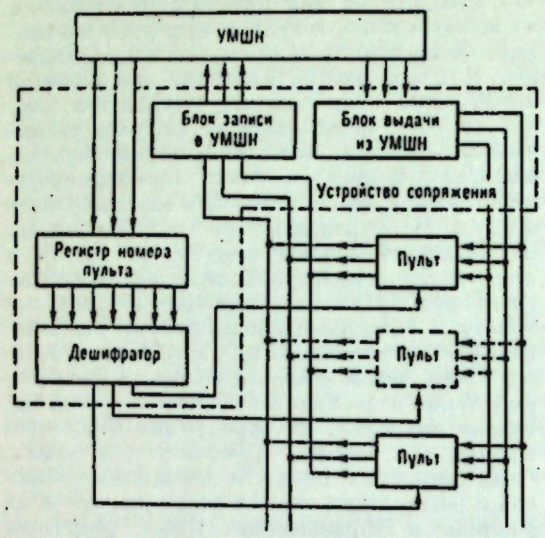
Сейчас разрабатываются и вводятся О. а. к. и по другим схемам. Широкое применение их в учебном процессе даст возможность выявить наиболее оптимальные из них. *Т. И. Ростунов.*

ОБУЧАЮЩИЙ КОМПЛЕКС (teaching complex; complexe d'enseignment; Unterrichtskomplex) — комплекс технич. средств, предназначенных для автоматизации процессов обучения по макс. возможной разветвл. программе как с непосредств. присутствием преподавателя, так и без него. Применение программ с большим разветвлением делает О. к. более «обучающим» по сравнению с индивид. *обучающими машинами* и *обучающими автоматизированными классами*. О. к. создаются на базе ЦВМ. Число одновременно обучающихся зависит от емкости ЗУ и быстродействия ЦВМ.

Экспериментальный образец обучающего комплекса «Радон», построенный на базе электронной цифровой вычислительной машины, названной управляющей машиной широкого назначения — УМШН, позволяет обучать одновременно 25 человек. В дальнейшем предполагается число обучающихся довести до 120—150 при одновременном обучении по 3—4 предметам. «Радон» (рис.) состоит из: УМШН, пультов учащихся, блока записи в ЦВМ, блока выдачи из ЦВМ, регистра номера пульта, дешифратора, пульта преподавателя.

УМШН (см. рис. на отд. листе) построена на ПП элементах, имеет малые габариты и потребляет сравнительно небольшое количество энергии (1,5 *квт-ч*).

Пульт учащегося предназначен для общения учащегося с машиной. Число пультов соответствует количеству учащихся, что позволяет вести независимое обучение каждого учащегося и в том темпе, на к-рый каждый способен. С помощью пульта учащийся получает



Блок-схема обучающего комплекса «Радон».

от УМШН задание, а после его выполнения вводит в машину результаты решения. Независимость работы каждого пульта друг от друга достигается наличием устройства сопряжения вычислит. машины с пультами. Оно позволяет поочередно подключать к УМШН все пульты, снимать информацию и выдавать на пульты результаты хода обучения. 25 пультов машина опрашивает и выдает информацию не более чем за 0,3 сек.

Блок записи снимает с пульта результаты решения учащегося и записывает в ОЗУ машины. Блоки записи и выдачи из машины подключаются дешифратором поочередно к каждому из пультов. Входной информацией для дешифратора служат сигналы, поступающие с регистра номера пульта; выборочное подключение необходимого пульта осуществляется по коду его номера, задаваемого регистром номера пульта.

Блок выдачи через регистр номера пульта, к-рый распределяет информацию из машины на соответствующие пульты учащихся (световые сигналы), сообщает о ходе процесса обучения каждого учащегося. Пульт преподавателя позволяет в любой момент контролировать процесс обучения, получить данные об этапе обучения, времени, затраченном учащимся на обучение, сведения о том, сколько и какие ошибки он сделал, об оценке его знаний. Если обучаемый превысил допустимое количество ошибок или не уложился в отведенное время, его пульт отключается от машины, а на пульте преподавателя загорается сигнальная лампочка.

При обучении на О.к. учащемуся предлагается сформулированное правило, затем на 2—3 примерах иллюстрируется применение этого правила, после чего дается несколько задач или примеров для самостоятельного решения. Весь исходный учебный материал располагается в спец. карточках, имеющих свой номер (код). В ЗУ машины хранится код каждой карточки, а также ответы на задачи и примеры, предлагаемые учащемуся для самостоят. решения. Учащийся, решив пример, вводит результаты решения в машину, к-рая сравнивает ответ учащегося с эталонным, хранящимся в ЗУ. Если они совпадают, то на пульт учащегося выдается сигнал «правильно» и номер карточки, по к-рой нужно продолжать обучение. В случае несовпадения ответов выдается сигнал «неправильно», и на пульте учащегося высвечивается номер карточки с правилом, на к-рое допущена ошибка. Ведется счет как числа ошибок на решаемый пример, так и общего числа ошибок учащегося. Если число ошибок при решении данного примера превышает макс. допустимое, на пульте учащегося выдается сигнал «Конец обучения по числу ошибок», и машина отключается от данного пульта. Если учащийся затратил время на обучение по данной карточке больше установленного, то машина выдает сигнал «Конец обучения по времени». Продолжить процесс обучения этот учащийся может только после выдачи с пульта преподавателя разрешающего сигнала.

Номер первой карточки устанавливается учащимся с пульта в режиме запроса задания. Далее, в режиме обучения программа обеспечивает обучение по карточкам последовательно в порядке увеличения номеров. Для пропуска карточек или возврата необходима установка номера требуемой карточки.

При неправильной установке учащимся номера карточки или в случае, если учащийся без разрешения преподавателя перескочит через к.-л. этап обучения, программа обеспечивает выдачу на его пульт сигнала «Уточните номер карточки».

При проведении экзамена учащийся обязан решить примеры, содержащиеся в карточках, номера к-рых сообщаются на пульт по программе. На пульт учащегося выдается только один сигнал «Конец экзамена», вырабатываемый после решения слушателем всех примеров или в случае, если он не уложился в установленное для экзамена время. Окончание экзамена указывается на пульте преподавателя загоранием лампочки. Контроль правильности решения учащимся примера по каждому пункту осуществляется сравнением его ответов с результатами, получаемыми в машине при проведении параллельных с учащимся вычислений. В случае их несовпадения содержимое счетчика ошибок увеличивается на единицу, и в дальнейших вычислениях, производимых машиной по данному примеру, участвует неверный ответ учащегося, чем устраняется влияние однажды сделанной ошибки на последующие сравнения ответов слушателя с результатами машинных вычислений. Число ошибок, допущенных учащимся, является основанием для выставления ему оценки. Число ошибок по отдельным темам позволяет судить о наиболее трудно усваиваемых вопросах, требующих внимания преподавателя.

Перспективы применения О. к. в программированном обучении по существу неограничены. Развитие О. к. может идти несколькими путями: а) совершенствование устройств ввода — вывода. Наиболее целесообразна связь человека с машиной посредством голоса или обычного письма. Создано вводное устройство, представляющее собой фильмоскоп с автоматич. выборкой любого кадра. Программир. материал с текстом, вопросами и подсказками наносится на кинопленку в 128 кадров. Позже был разработан диафильм емкостью 1000 кадров. В зависимости от ответа учащегося машина вырабатывает команду, к-рая вводится в фильмоскоп. Схема автоматики фильмоскопа выбирает требуемый кадр и проектирует его на экран. Светооптич. система рассчитана на работу в незатемненной аудитории, что облегчает пользование учебниками и тетрадями. Для улучшения связи обучаемого с машиной целесообразно в пультах использовать электрич. пишущие машины. Они являются бесшумными и позволяют быстро вводить как цифры, так и буквы;

б) совершенствование вычислит. машин, предназначенных для работы в О. к. Наиболее целесообразно для этих целей разрабатывать специализир. ЦВМ, к-рые отличались бы от универсальных большой емкостью ЗУ, быстродействием, спец. системой команд. Такие машины были бы менее сложны, чем универсальные, благодаря упрощению АУ и УУ;

в) совершенствование обучающих программ. Программы должны допускать одноврем. обучение по возможно большему количеству тем, т. е. программа должна быть по возможности универсальной. Кроме того, логика программы должна быть достаточно гибкой, что обеспечит более эффективное индивидуализированное обучение.

Лит.: Программированное обучение и кибернетические обучающие машины, М., 1963.

Т. И. Ростунов.

ОБЩАЯ МИНИМАЛЬНАЯ ФОРМА недоопределенной логической (булевой) функции (general minimal form; forme minimale générale; allgemeine Minimalform) — дизъюнкция всех минимальных членов этой функции. При рассмотрении полностью определенной функции понятию О. м. ф. соответствует понятие «сокращенной нормальной формы», под к-рым обычно понимается дизъюнкция (см. *Алгебра логики*) всех *импликантов простых* заданной функции. Получение О. м. ф. недоопределенной логич. ф-ции — промежуточный этап в процессе минимизации этой ф-ции. Основные методы определения О. м. ф.: метод проб и метод последоват. сокращений (др. методы см. *Минимизация*). Метод проб [1] заключается в последоват. сравнении всех возможных элементарных конъюнкций, составленных из переменных, входящих в заданную функцию и расположенных в порядке возрастания числа букв, с членами совершенной дизъюнктивной нормальной формы (СДНФ) функции $F_з$, выражающей *запрещенные состояния* релейной цепи. Те конъюнкции, к-рые не содержатся в членах СДНФ $F_з$ и в то же время содержатся хотя бы в одном члене СДНФ функции $F_р$, выражающей *рабочие состояния* этой же цепи, и не допускают взаимного поглощения, будут минимальными членами функции, характеризующей работу этой цепи. Проверив т. о. все 3^n (где n — число переменных в функции) возможных конъюнкций, получают список всех минимальных членов заданной функции. Дизъюнкция всех их образует О. м. ф. этой функции. Метод последоват. сокращений [2] состоит в последовательном сокращении членов СДНФ ф-ции $\overline{F}_з = F_р \vee F_у$ ($F_у$ — ф-ция, выражающая условные состояния релейной цепи) на основе правила: $Ax + A\overline{x} = A$. Из полученных простых импликантов ф-ции $\overline{F}_з$ вычеркиваются простые импликанты, не имплицирующие ни одного из членов СДНФ $F_р$. Дизъюнкция оставшихся импликантов есть О. м. ф. исходной ф-ции. Однако О. м. ф. — еще не окончательный результат минимизации. В нек-рых ф-циях (как недоопределенных, так и полностью определенных) число букв (т. е. переменных и их отрицаний) в О. м. ф. значительно превышает число букв в СДНФ функции $F_р$. Поэтому методы минимизации предусматривают сокращение О. м. ф. до *частной минимальной формы* путем удаления т. н. «избыточных» минимальных членов.

Лит.: 1) Гаврилов М. А., Минимизация булевых функций, характеризующих релейные цепи, «АиТ», 1959, т. 20, № 9, с. 1217—38; 2) McCluskey E. J., Minimization of Boolean functions, «Bell. System Techn. J.», 1956, v. 35, № 6, p. 1417—44.

В. Д. Калаков.

ОБЪЕКТА ХАРАКТЕРИСТИКА (controlled plant characteristic; caracteristique de l'installation reglée; Charakteristik des Objekts) — совокупность ф-ций, величин, матем. операций, правил, алгоритмов, при помощи к-рых заданному сигналу на входе объекта ставится в соответствие сигнал на выходе этого объекта. Обычно различают статич. и динамич. хар-ки объекта. *Статическая характеристика* объекта представляет зависимость выходной координаты объекта от значения входной координаты в установившемся режиме. Наиболее общей динамич. О. х. является оператор A, связывающий входной сигнал $x(t)$ в любой момент времени t с выходным сигналом $y(t)$ ур-нием: $y(t)=Ax(t)$. Иногда на вход объекта могут подаваться не любые сигналы, а лишь сигналы $x(t)$, удовлетворяющие нек-рым условиям, напр. $|x'(t)|\leqslant M$ для всех значений t на отрезке $[a, в]$. Тогда это условие вместе с оператором A следует отнести к О. х.

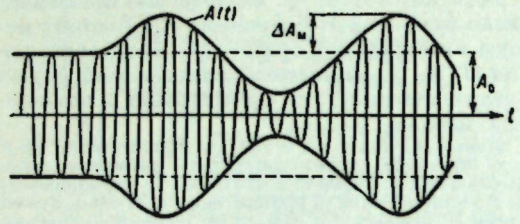
Важный класс хар-к линейных объектов составляют *частотные характеристики*: амплитудная, фазовая, амплитудная фазовая, вещественная и мнимая. Важным преимуществом этих хар-к является их относительно простое эксперимент. определение даже для сложных объектов. Линейные объекты часто характеризуются *передаточной функцией* и *импульсной переходной функцией*, представляющей реакцию объекта на единичный импульс.

Большое число объектов можно описывать дифференц. ур-ниями (или их системами). В нек-рых случаях эти ур-ния могут рассматриваться в качестве О. х. Объект, независимо от входного сигнала, может быть подвержен действию к.-л. случайных помех. Тогда любая хар-ка, определяющая их влияние на выходной сигнал, также относится к хар-ке объекта, напр. условная ф-ция распределения значений сигнала на выходе объекта при заданных значениях входного сигнала.

Е. С. Кочетков.

ОГИБАЮЩАЯ СИГНАЛА, огибающая амплитуд (signal amplitude envelope; enveloppe de signal; Signal-Hüllkurve), — временная функциональная зависимость, определяющая закон изменения амплитуд колебаний. О. с. — кривая, плавно соединяющая вершины соседних периодов колебаний (рис.). При АМ огибающая ВЧ колебаний несущей частоты меняется по закону изменения передаваемого сигнала, т. е. по закону модуляции. Из принятого АМ сигнала О. с. выделяется *детектированием*. В общем виде О. с. представляет собой ф-цию времени

$c(t)$. Для случая тональной модуляции, когда $c(t)$ является гармонич. колебанием, О. с. запишется в виде $A(t)=A_0+\Delta A_м\cdot\sin(\Omega t+\varphi)$, где Ω — частота модуляции, φ — нач. фаза; $\Delta A_м$ — амплитуда переменной составляющей О. с.; A_0 — амплитуда колебаний несущей частоты (в отсутствие модуляции). Отношение $\Delta A_м/A_0$ наз. коэфф. модуляции.



При импульсном режиме работы (напр., в радиолокации) огибающей ВЧ импульсных посылок является последовательность видеоимпульсов. В нек-рых видах импульсной модуляции О. с. может представлять собой огибающую амплитуд импульсной последовательности.

Лит.: Гоноровский И. С., Основы радиотехники, М., 1957.

И. А. Минасян.

ОГРАНИЧЕННОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ по модулю (limited action; action limitée; begrenzte Einwirkung) — категория возмущающих воздействий, относительно к-рых известно лишь, что они ограничены по модулю. При О. в. можно оценить границы отклонений системы или определить процесс накопления и наибольшее отклонение САР, как результат накопления отклонений. О. в. качественно классифицируются на опасные и неопасные. Опасные О. в. приводят к возрастанию ошибки САР. Наиболее опасным О. в. является последовательность прямоугольных импульсов, по высоте равных модулю О. в., а по продолжительности соответствующих интервалам знакопостоянства скорости переходного процесса для данной САР. Такое О. в. создает наибольшую ошибку САР за наименьшее время.

Б. Н. Андрейчиков.

ОГРАНИЧИТЕЛЬ АМПЛИТУДЫ (напряжения) (amplitude limiter; limiteur d'amplitude; Amplitudenbegrenzer) — электронная схема, обладающая одним из следующих свойств: 1) в те моменты времени, когда входное напряжение становится ниже нек-рого уровня, схема не проводит тока вовсе; 2) в те моменты времени, когда входное напряжение становится выше нек-рого заданного уровня, схема пропускает только тот переменный ток, к-рый соответствует заданному уровню. О. а. изменяет форму кривой подводимого к нему напряжения, срезая верхнюю или нижнюю ее часть. При промежуточных значениях входного напряжения, меньших предельного при ограничении по максимуму (ограничение сверху) или бо́льших предельного при ограничении по минимуму (ограничение снизу), напряжение на выходе О. а. должно с мин. искажениями формы сигнала следовать за изменениями напряжения, подаваемого на вход схемы. Двустороннее ограничение совмещает в себе функции ограничения сверху и снизу. Работа О. а. основана на применении в качестве вентиля нелинейного элемента, на практике — диода, многосеточной лампы или кристаллич. детектора. В зависимости от типа нелинейного элемента, режима его работы и схемы включения различают диодное, сеточное и анодное ограничения.

В схеме диодного ограничения с последоват. включением диода (рис. 1,*а*) при большой амплитуде входного сигнала и при $R\gg R_i$ (где R_i — внутр. сопротивление диода) диод можно рассматривать как идеальный

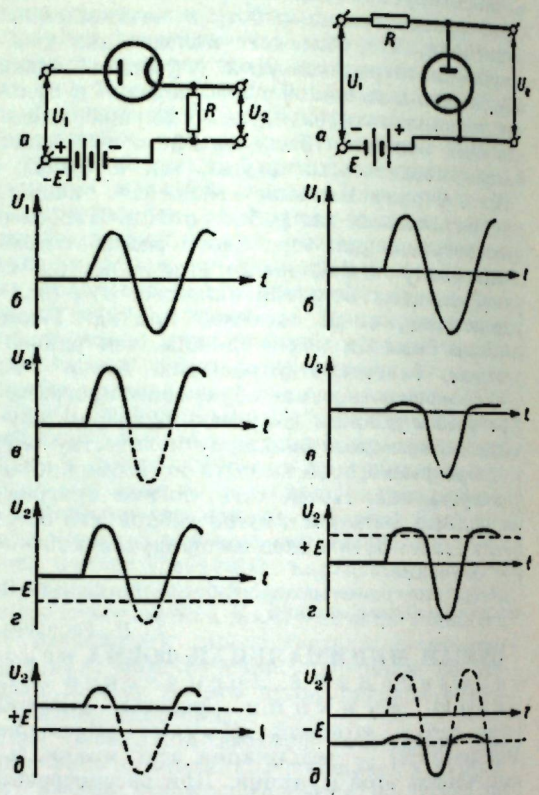


Рис. 1.

Рис. 2.

вентиль, включенный последовательно с сопротивлением R: при $E=0$ и отрицат. значениях U_1 диод закрыт и $U_2=0$ (рис. 1, *б*, *в*). При включении напряжения смещения $E>0$ диод приоткрывается и уровень ограничения на величину смещения перемещается в область отрицат. значений входного напряжения (рис. 1, *г*). При смене знака напряжения смещения уровень ограничения смещается в область положит. значений входного напряжения (рис. 1, *д*). Последоват. схема диодного О. а. наиболее распространена, т. к., кроме простоты, экономичности и стабильности уровня ограничения, присущих всем диодным О. а., она обеспечивает хорошее качество (четкость) ограничения (выходная цепь практически полностью отключается от источника напряжения при запертом диоде).

В схеме паралл. диодного ограничения (рис. 2,*а*) при $E=0$ и положит. значениях входного напряжения диод открыт, его внутреннее сопротивление мало и величина U_2 близка к нулю (рис. 2,*в*). Сопротивление R и R_i образуют делитель напряжения. При отрицат. значениях входного напряжения диод заперт и U_2 практически не отличается от U_1 (при входном сопротивлении нагрузки много большем R) (рис. 2,*в*). Схема работает как О. а. сверху. При обратном включении диода схема будет работать как О. а. снизу. Подачей напряжения смещения E может быть установлен любой уровень ограничения (рис. 2,*г*, *д*). Качество (четкость) ограничения зависит от отношения R/R_i. Здесь нет полного отключения входной цепи — при превышении входным напряжением уровня ограничения напряжение на выходе продолжает расти (рис. 2, *в*, *г*, *д*) тем больше, чем меньше отношение R/R_i; это — основной недостаток схемы. Двустороннее ограничение может быть выполнено совмещением двух диодных О. а. как в последовательном, так и в параллельном включении.

Сеточное ограничение (рис. 3) эквивалентно паралл. диодному ограничению по максимуму; роль диода играет участок сетка-катод многоэлектродной лампы. Основное достоинство схемы — действие ограниченного напряжения на сетке и усиление его той же лампой. Значит. коэфф. усиления и малая входная емкость экранированных ламп выгодны при работе с короткими импульсами. Уровень ограничения изменяют подачей напряжения смещения. Схема анодного ограничения не отличается от схемы обычного усилителя. Ограничение создается отсечкой анодного тока при отрицат. напряжении на сетке, равном напряжению запирания (рис. 4) лампы (ограничение снизу — по минимуму анодного тока)

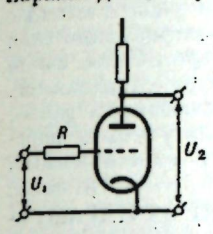


Рис. 3.

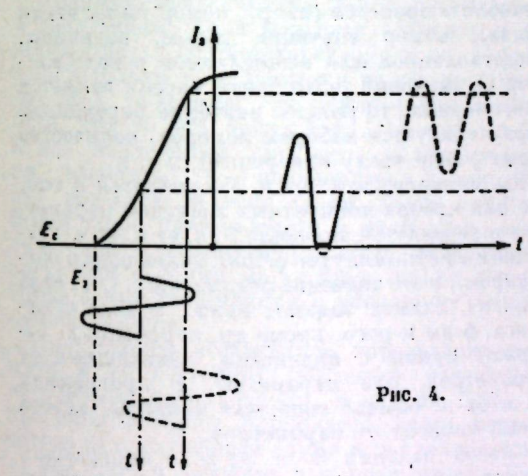


Рис. 4.

или при положительном напряжении на сетке (ограничение сверху). Уровень ограничения определяется выбором величины сеточного смещения. При достаточно большой амплитуде за счет анодного ограничения может быть получено ограничение как сверху, так и снизу. Качество ограничения определяется формой сеточной хар-ки лампы.

При формировании коротких импульсов с крутыми фронтами желательно иметь минимальную величину паразитной входной емкости схемы. О. а. наиболее широко применяются в импульсной технике для получения напряжения прямоугольной формы из синусоидального, сглаживания вершин импульсов при наличии пульсаций, осуществления избирательности по амплитуде и т. п. О. а. применяются при приеме частотно модулированных и импульсных сигналов для «обрезания» шумов и ослабления импульсных помех.

Лит.: Гоноровский И. С., Основы радиотехники, М., 1957; Мееровича Л. А. и Зеличенко Л. Г., Импульсная техника, М., 1953.

И. А. Минасян.

ОДНОАДРЕСНАЯ МАШИНА (single-address computer; machine à adresses définies; Ein-Adressen-Maschine) — ЦВМ, команды к-рой содержат один адрес, относящийся в зависимости от кода операции к операнду, результату операции или к команде. Указатели индексных регистров при определении адресности машины обычно во внимание не принимаются. О. м. имеет естеств. порядок выполнения команд, для изменения к-рого необходима спец. команда условного или безусловного перехода. По команде условного перехода О. м. обращается к очередной ячейке или к ячейке, номер к-рой задан адресом команды условного перехода. Арифметич. или логич. действие, требующее два операнда, выполняется в О. м. последовательно двумя командами. Запись результата операции в ЗУ требует отдельной команды. Для каждой из взаимно связанных операций, одним из операндов к-рой является результат предыдущей операции, необходима одна команда. В общем случае для решения задачи на О. м. нужно большее число команд, чем на многоадресной. Однако О. м. проще конструктивно и более эффективно используют каждую команду, поскольку одноадресная кодировка позволяет практически исключить холостые (не используемые) адреса. Достоинство О. м.— большие структурные возможности построения команд. При одинаковой разрядной сетке и одних и тех же объемах ЗУ многоадресных и одноадресных машин команды последних могут содержать дополнит. информацию (индексы, признаки, условия и т. д.), расширяющую возможности машины, либо занимать лишь половину ячейки памяти (машина «Стретч»). Это определило большую распространенность О. м. («Урал», ИБМ-705, Сименс-2002, «Атлас» и др.).

И. А. Данильченко.

ОДНОВИБРАТОР [univibrator; univibreur (monovibreur); Univibrator] — то же, что ждущий *мультивибратор*.

ОДНОНАПРАВЛЕННАЯ ЦЕПЬ (unidirectional circuit; chaîne unidirectionnelle; Kreis mit Richtwirkung, einseitig richtender Kreis) — цепь, состоящая из линейных и нелинейных звеньев, однонаправленного действия (детектирующих звеньев), т. е. звеньев, у к-рых величина выхода $x_{вых}$ изменяется в зависимости от величины входа $x_{вх}$, а величина $x_{вых}$ не оказывает обратного воздействия на величину $x_{вх}$. Если одноконтурная О. ц. состоит из линейных звеньев, то она описывается ур-ниями $x_i=K_i(p)x_{i-1}$, $i=2-n$; где $K_i(p)$ — передаточная ф-ция i-того звена, x_{i-1}, x_i — соответственно преобразование Лапласа входа и выхода i-того звена. Если О. ц. отличается от одноконтурной наличием обратной связи, то ее можно свести к последней, заменив обратную связь и все шунтированные ею звенья одним условным звеном. В одноконтурной цепи, содержащей одно недетектирующее звено (k-тое), ур-ние k — 1-го звена будет иметь вид:

$$x_{k-1}=K_{k-1}(p)\,x_{k-2}+M(p)\,x_k,$$

где K_{k-1} — передаточная ф-ция k — 1-го звена, x_{k-2}, x_{k-1} — соответственно преобразование Лапласа входа и выхода k — 1-го звена, а $M(p)$ — передаточная ф-ция воздействия выхода k-того звена на выход k — 1-го звена. Такие воздействия направляют по цепям обратной связи, состоящим из детектирующих звеньев.

В. Г. Шолохов.

ОКОНЕЧНАЯ СТУПЕНЬ, каскад (final stage; étage final; Endstufe), — последняя (выходная) ступень радиотехнич. схемы, служащая обычно для получения на выходе схемы электрич. сигнала требуемой мощности. В качестве О. с. употребляются *усилители мощности*, собранные по однотактным или двухтактным схемам. Выбор типа схемы О. с. определяется требованиями к величине ее выходной мощности и допустимыми *нелинейными искажениями* выходного сигнала. Так, напр., в радиопередатчиках в качестве О. с. применяется *генератор с независимым возбуждением*, собранный по двухтактной схеме для обеспечения большой выходной мощности в антенне при малом коэфф. нелинейных искажений. В импульсных схемах, когда выходной сигнал должен передаваться по коаксиальной линии, в качестве О. с. употребляется *катодный повторитель*.

Лит.: Терещук Р. М., Домбругов Р. М., Босый Н. Д., Справочник радиолюбителя, 3 изд., Киев, 1961. *Ю. Б. Любченко.*

ОКТОД (octode; octode; Oktode) — *лампа приемно-усилительная* с 8 электродами (накаливаемым катодом, анодом и 6 сетками) для работы в каскадах преобразования частоты супергетеродинных радиоприемников. 1-я и 2-я сетки составляют с катодом триод гетеродина; принимаемый сигнал подается обычно на 4-ю сетку; 3-я и 5-я сетки — экранирующие, 6-я — противодинатронная. О. вытеснен более совершенным *гептодом*.

ОПЕРАНД (operand; nombre opérateur; Operand) — величина, над к-рой совершается операция. Так, при сложении О. являются слагаемые, при умножении — сомножители. Этот термин особенно часто используется в вычислит. технике. Операции в вычислит. машинах делятся на трехкомпонентные — два О. и результат (арифметические, логические); двухкомпонентные — два О., а в качестве результата — одноразрядный управляющий сигнал (сравнение), или один О. и результат (передача *слова*). В команде различают первый О., второй О. и результат. Обычно в устройстве переработки информации им соответствуют регистры первого О., второго О. и результата. Напр., в одноадресных машинах регистром результата служит регистр первого О.

Классификация операций не зависит от адресности машины. В трехадресной машине можно явно указать адреса всех трех О. в одной команде. В двухадресной обычно явно указывают адреса первого и второго О. для трехкомпонентной операции. Результат остается в решающем устройстве. Если в одноадресной машине явно указывают адрес результата для трехкомпонентной операции, тогда О. передаются в решающее устройство предварительно по одной команде передачи на О. Двухкомпонентные операции имеют один явный адрес: это или адрес одного из О. или адрес результата.

О., кроме машинного слова, может являться фраза, составленная из неск. слов или букв одного из возможных алфавитов машины (двоичного, десятичного, буквенного). В машине с командой длиной в одно слово операции над командами выполняются над частью слова. Числа могут занимать неск. ячеек. Напр., в ГАММА-60 (вычислит. машине фирмы «Bull», Франция) О. в арифметич. операциях является число длиной в две ячейки. В О. команды указывается начало числа. Выборка двух ячеек осуществляется местной программой арифметич. операций. В той же машине можно хранить числа и фразы вперемешку. В этом случае О. могут быть и числа и фразы. Их длина и строение определяются спец. «кодами клише», характеризующими их строение, и выражаются количеством цифр или букв, к-рые могут занимать часть слова и неск. слов. Существуют машины, имеющие фиксиров. длину числа. Тогда О. являются только такие числа.

В нек-рых операциях в командах, кроме О., указывается число циклов работы машины при данном типе обработки информации (как числовых данных, так и переработки самой программы): это или число ячеек (слов) памяти, или число буквы в обрабатываемой фразе, или число итераций. Они могут быть определены с помощью указания адреса ячейки, в к-рой они находятся. *И. И. Рикко.*

ОПЕРАТОР, ЗАВИСЯЩИЙ ОТ ПАРАМЕТРОВ (parameter-dependent operator; opérateur dépendant des paramètres; von Parametern abhängiger Operator) — ф-ция, аргументами к-рой являются параметры, а значениями — операторы (см. *Операторы программы*, *Оператор логической схемы*). Параметрами наз. целочисл. переменные, имеющие при выполнении логич. схемы или программы вспомогат. значение. Обычно параметрами являются номер шага алгоритмического, в частности вычислит. процесса (напр., номер выполнения цикла), номер значения перем. величины, представленной или вычисляемой в виде массива ее значений (если такой массив является многомерным, то каждое значение переменной характеризуется набором номеров, количество к-рых равно числу измерений), и т. п.

Выполнение О. з. от п. заключается в том, что для набора конкретных значений параметров определяется значение О. з. от п. (т. е. значение вышеупомянутой ф-ции, являющееся оператором), и это значение реализуется. О. з. от п. в логич. схемах задают, напр., в виде комплекса, ф-лы к-рого, кроме др. переменных, содержат буквы с индексами, зависящими от параметров, или параметры. В программах О. з. от п. обычно содержат команды, адреса к-рых зависят от параметров.

Способ задания О. з. от п. в программах определяется конструктивными особенностями ЦВМ. Если в ЦВМ предусмотрена переадресация команд в ячейках памяти (т. е. изменение команды возможно только при записи ее нового вида в ячейку, в к-рой находился ее исходный вид), то при составлении программы О. з. от п. пишут в виде его значения, отвечающего нач. значениям параметров. В процессе выполнения программы при каждом изменении параметров получают необходимое значение О. з. от п. путем изменения его команды др. операторами, присутствующими в программе (напр., операторами переадресации, восстановления или формирования). Если в ЦВМ предусмотрена переадресация в УУ, заключающаяся в том, что к кодам команд в регистре команд машины производится прибавление (или вычитание) соответствующих «поправок», то О. з. от п. (в отличие от операторов, не зависящих от параметров) либо содержит в своем составе команды, предписывающие вышеупомянутое прибавление (вычитание) «поправок», либо в ряде своих команд содержит спец. признак, наличие к-рого обусловливает автоматич. прибавление (вычитание) «поправок». Последнее имеет место для машин, оборудованных спец. (индексными) регистрами. Вычисление поправок производят др. операторы, специально включ. в программу, по своему назначению эквивалентные операторам переадресации, восстановления или формирования. *И. А. Криницкий.*

ОПЕРАТОР ЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ (logical circuit operator; opérateur de circuit logique; Operator einer logischen Schaltung) — преобразование состояний памяти в новые ее состояния. О. л. с. может зависеть от величин, наз. параметрами. О. л. с. являются осн. составными частями *логических схем*. Под памятью понимается совокупность к.-л. элементов, наз. ячейками и имеющих следующие св-ва: а) каждая ячейка обладает нек-рым множеством различных между собой возможных состояний. Это множество содержит более одного состояния; б) состояния каждой ячейки между собой четко разграничены; в) ячейка всегда находится в одном из таких состояний и устойчиво сохраняет его до тех пор, пока внешнее воздействие не вызовет перехода ее в др. устойчивое состояние.

Обозначим память через Ω, а произвольную ее ячейку — через α. Состоянием памяти наз. ф-ция $s(\alpha)$, к-рая каждой ячейке памяти ставит в соответствие определ. состояние, т. е. указывает, в каком состоянии s находится в данное время каждая ячейка α.

Принятое здесь понятие ф-ции заключается в следующем. Если каждому элементу α из множества Ω соответствует по к.-л. закону один и только один элемент s из нек-рого множества S, то говорят, что задана ф-ция $s=f(\alpha)$ [или, что то же, ф-ция $s(\alpha)$]. Элементы α из Ω наз. значениями аргумента, а отвечающие им элементы s — значениями ф-ции; Ω наз. областью задания ф-ции. Такое понятие ф-ции шире применяемого в математич. анализе, ибо в математич. анализе значениями аргумента и ф-ции могут быть только числа. Ниже ф-ции понимаются в указанном расширенном смысле.

Приведенное абстрактное определение памяти и ее состояний допускает различные конкретные истолкования. В теории ЦВМ и программирования приходится часто встречаться со следующими двумя истолкованиями: 1) под словом «ячейки» понимают ячейки ЗУ ЦВМ, а под состояниями ячеек — коды, к-рые могут в них храниться. При этом памятью является совокупность ЗУ машины. В этом случае состояние памяти может быть описано в виде таблицы, в к-рой перечислены номера ячеек и коды, хранящиеся в ячейках; 2) под ячейками понимаются буквы нек-рого алфавита, а под состояниями ячеек — числовые значения, приписываемые этим буквам. Памятью в этом случае считается алфавит. Состояние памяти можно описать в виде последовательности равенств, в левых частях к-рых стоят буквы, а в правых — их числовые значения. Благодаря такой возможности по-разному истолковывать понятие памяти, логич. схемы, понятие к-рых тесно связано с понятием памяти, оказываются удобной для практики формой описания алгоритмов, промежуточной между математич. их описаниями и программами. Пользуясь вторым истолкованием памяти, переходят от математич. описаний алгоритмов к логич. схемам. Применяя первое истолкование памяти, производят переход от логич. схем к программам (см. *Операторный метод программирования*).

Пусть X, Y и Z — три последовательности, состоящие соответственно из n, m и l ячеек, причем Y и Z между собой не пересекаются, т. е. не имеют общих ячеек. Простым О. л. с. наз. преобразование состояний памяти в новые состояния, заключающиеся в том, что: 1) ячейки, входящие в Y, из своих первонач. состояний переходят в новые состояния, являющиеся ф-циями от первонач. состояний ячеек, входящих в X; 2) состояния ячеек памяти, не принадлежащих ни Y, ни Z, остаются неизменными; 3) состояния ячеек, принадлежащих Z, может быть переходят в нек-рые новые состояния, а может быть все или некоторые из них остаются неизменными.

Последовательности X, Y и Z наз. соответственно входным, выходным и рабочим кортежами ячеек простого О. л. с. Множество тех состояний входного кортежа, для к-рых заданы значения ф-ций, определяющих результирующие состояния ячеек выходного кортежа, наз. областью задания простого О. л. с. Применение простого О. л. с. к к.-л. конкретному состоянию памяти наз. его выполнением.

Пусть заданы простые О. л. с. A и B, причем первый из них имеет входной, выходной и рабочий кортежи X_1, Y_1 и Z_1, а второй — X_2, Y_2 и Z_2. Пусть, кроме того, X_2 и Z_1 не пересекаются. Тогда, выполняя сначала A, а затем B (для всякого первонач. состояния памяти, к-рое это допускает), получаем преобразование состояний памяти, являющееся новым простым О. л. с. Этот новый простой О. л. с. наз. произведением A и B и обозначается AB.

Простые О. л. с., у к-рых выходные кортежи состоят из одной ячейки, а рабочие кортежи являются пустыми (не содержат ячеек), наз. основными О. л. с. Пусть входной кортеж осн. О. л. с. состоит из ячеек $\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n$, а выходной кортеж — из ячейки α_i. Очевидно, осн. О. л. с. можно описать двумя ф-лами

$$\overline{s}(\alpha_i)=\varphi[s(\alpha_1), s(\alpha_2), \ldots, s(\alpha_n)],$$
$$\overline{s}(\alpha)=s(\alpha) \text{ при } \alpha\neq\alpha_i,$$

где s означает первоначальное, а $\overline{s}$ — результирующее состояния. Если вторую из этих ф-л подразумевать, а в первой для упрощения опустить символы $s(\ )$ и $s(\overline{\ })$ и, кроме того, знак равенства заменить знаком $:=$ (т. н. знаком присваивания), то описанием основного О. л. с. будет являться ф-ла

$$\alpha_i:=\varphi(\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n).$$

Установлено, что всякий простой О. л. с. можно представить в виде произведения осн. О. л. с., включая выходные кортежи нек-рых осн. О. л. с. в рабочий кортеж произведения (при этом рабочий кортеж изображаемого простого О. л. с. может отличаться от рабочего кортежа произведения осн. О. л. с.). Это позволяет всякий простой О. л. с. описать столбцом ф-л

$$\alpha_{i_1}=\varphi_1(\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n),$$
$$\alpha_{i_2}=\varphi_2(\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n),$$
$$\ldots\ldots\ldots\ldots,$$
$$\alpha_{i_N}=\varphi_N(\alpha_1, \alpha_2, \ldots, \alpha_n),$$

для к-рого указаны входной и выходной кортежи. Заданный указанным образом простой О. л. с. наз. также *комплексом*.

частности, об их равносильных преобразованиях с целью улучшения (см. *Равносильные преобразования логических схем*). Международный язык *Алгол* и *адресный язык* также основаны на идеях операторного метода.

Лит.: Китов А. И., Криницкий Н. А., Электронные цифровые машины и программирование, 2 изд., М., 1961; Ляпунов А. А., О логических схемах программ, в сб.: Проблемы кибернетики, вып. 1, М., 1958; Криницкий Н. А., Миронов Г. А., Фролов Г. Д., Программирование, М., 1963.

Н. А. Криницкий.

ОПЕРАТОРЫ ПРОГРАММЫ (programme operators; opérateurs de programme; Operatoren des Programms) — группа команд программы. Бывают двух видов: элементарные и обобщенные. Под элементарным О. п. понимается группа команд программы, обладающая следующими св-вами: 1) упорядоченности — управление извне может получить лишь первая команда. Передача управления от команды к команде элементарного оператора (ЭО) происходит в порядке номеров команд, напр. номеров ячеек, хранящих команды; 2) связности — если первая команда ЭО получит управление, то его получит в свое время и каждая др. команда оператора; 3) автономности — условная передача управления ЭО может осуществляться в зависимости от значения сигнала ω, выработанного командой этого оператора; 4) простоты — ЭО выполняет лишь один из видов работы (см. ниже); 5) полноты — ЭО не может быть расширен путем присоединения примыкающих к нему команд без нарушения хотя бы одного из вышеопис. св-в команд оператора.

Элементарные О. п. по виду выполняемой работы принято делить на: 1) действующие (*Д*), команды к-рых непосредственно преобразовывают исходные данные задачи в искомый результат; 2) логические (*Р*), проверяющие выполнение логич. условий (т. е. вычисляющие значения *предикатов*); 3) варьирующие (*V*), изменяющие команды программы или ее «константы»; 4) останова (*Я*), осуществляющие останов машины; 5) вспомогательные или подготовительные (*П*), вводящие данные в машину, выводящие данные из машины на выходные устройства, записывающие данные из оперативного ЗУ во внешнее ЗУ и обратно и т. п.

К числу действующих операторов относятся арифметич. операторы (*А*), ведущие счет по ф-лам, операторы переноса (обозначаются *П*, как и вспомогат. операторы) из одних ячеек оперативной памяти в др. (при решении, напр., комбинаторных задач) и др.

Варьирующие операторы делятся на операторы переадресации *F*, восстановления *О* и формирования *Ф*. Оператор *F* есть, как правило, оператор *V*, находящийся внутри нек-рого цикла программы и изменяющий адресную часть команд этого цикла. Оператор *О* есть оператор *V*, находящийся вне нек-рого цикла и восстанавливающий первонач. вид перем. команд этого цикла перед его выполнением. Операторы *Ф* «вычисляют» команды по заранее заданным правилам или по результатам, полученным при выполнении др. операторов, и включают их в состав операторов.

Обобщенным О. п. наз. группа команд программы, обладающая св-вами упорядоченности и автономности, т. е. управление извне может получить только первая команда оператора, и условная передача управления оператором может осуществляться в зависимости от выполнения или невыполнения логических условий, проверяемых командами обобщ. оператора.

О. п. применяются для описания программы. Для этого задается операторная схема программы и описание каждого оператора, т. е. описываются все те действия, к-рые выполняются машиной по командам оператора при заданном наборе входных и выходных величин оператора. Описание программы нередко дается на двух уровнях. Первому уровню соответствует задание т. н. общей блок-схемы или обобщ. операторной схемы, в к-рой используются обобщ. операторы. Это необходимо для того, чтобы с меньшими усилиями можно было изучить общую организацию решения задачи. Второму уровню соответствует задание подробной операторной схемы, в к-рой уже в качестве операторов используются ЭО.

Г. Д. Фролов.

ОПЕРАЦИИ ДЕШИФРАТОР, коммутатор операций; в вычислит. технике (operation decoder; décodeur d'opérations; Dechiffrator der Operationen) — схема, преобразующая коды операций в систему сигналов, обеспечивающих их выполнение. Входит в состав УУ машины. Может быть двух типов: 1) О. д., у к-рого каждому коду на входе соответствует одна выходная шина; сигнал по шине передается на переключат. цепи, устанавливающие требуемый порядок прохождения рабочих импульсов на исполнит. элементы. Сами рабочие импульсы вырабатываются автономно в *формирователе такта*. Число шин в таком О. д. равно количеству кодируемых операций; 2) О. д., вырабатывающий на выходе совокупность сигналов, непосредственно воздействующих на исполнит. элементы. Количество шин на выходе соответствует числу рабочих сигналов. В данном случае О. д. совмещен с формирователем такта и обеспечивает выработку своего рабочего такта для каждой операции.

В машинах, использующих микропрограммирование, О. д. производит выборку из накопителя управления первой микрокоманды соответствующей заданной операции микропрограммы. В дальнейшем О. д. служит для расшифровки адресов последующих микрокоманд и извлечения их из накопителя. Адреса каждой микрокоманды внутри микропрограммы формируются при этом предыдущей микрокомандой. О. д. собираются, как правило, на диодных и ферритовых матрицах.

Н. А. Данильченко.

ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ, решающий усилитель (operational amplifier; amplificateur opérationnel; Operations verstärker),— усилитель пост. тока с обратной связью,

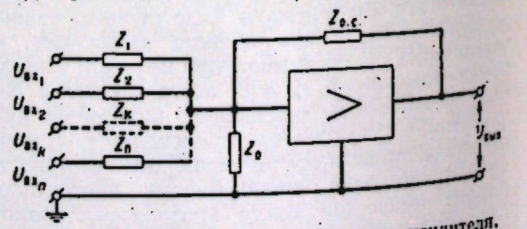


Рис. 1. Блок-схема операционного усилителя.

позволяющий выполнять определенные математич. операции. О. у. строятся либо по принципу параметрич. компенсации погреш-

ности за счет положит. *обратной связи*, либо по принципу усилителя с глубокой отрицат. обратной связью. Благодаря меньшей погрешности и большей надежности в большинстве аналоговых вычислит. устройств применяются О. у. с отрицат. обратной связью (рис. 1). Выходное напряжение такой схемы:

$$U_{вых} = -\sum_{i=1}^{n} \frac{Z_{oc}}{Z_i} \cdot \frac{U_{вхi}}{1 + \dfrac{1 + \sum_{i=1}^{n} Z_{oc}/Z_i}{|K(j\omega)|}}, \quad (1)$$

где Z_{oc} — сопротивление, включ. параллельно усилителю, Z_i — входное сопротивление i-того входа, $U_{вхi}$ — входное напряжение на i-том входе, $K(j\omega)$ — комплексный коэфф. усиления усилителя при разомкнутой цепи обратной связи, n — число входов, $U_{вых}$ является суммой входных сигналов, каждый из к-рых умножен на свой передаточный коэфф. Передаточный коэфф. по входу k (предполагается $U_{вхi}=0$ для $i \neq k$) выражается ф-лой:

$$K_{n,k} = -\frac{Z_{oc}}{Z_k} \cdot \frac{1}{1 + \dfrac{1 + \sum_{i=0}^{n} Z_{oc}/Z_i}{|K(j\omega)|}}. \quad (2)$$

Отношение $-Z_{oc}/Z_k$ определяет заданную математич. операцию по входу k, выполняемую идеальным усилителем, имеющим $|K(j\omega)|=\infty$ для любых частот (см. *Аналоговая вычислительная машина*). Член $\frac{1}{|K(j\omega)|}\left|1+\sum_{i=0}^{n} Z_{oc}/Z_i\right|$ определяет систематич. относит. погрешность, вносимую усилителем из-за конечности статич. коэфф. усиления и ограниченности полосы пропускания. Чем больше $|K(j\omega)|$ и чем медленнее происходит его затухание с ростом частоты сигнала, тем меньшую погрешность вносит усилитель. Для работы в режиме сумматора или инвертора обычно достаточно иметь $|K(j\omega)| \geqslant 5 \cdot 10^4$ в диапазоне частот 0—50 *гц*, а для работы в режиме интегратора — $|K(j\omega)| \geqslant 5 \cdot 10^5$ в диапазоне 0—5 *гц*. Значит. погрешность вносит О. у. из-за *дрейфа нулевого уровня*, к-рый присущ любому усилителю пост. тока и эквивалентен ложному сигналу на входе. В зависимости от решаемой задачи и требуемой точности допустимая величина дрейфа составляет от неск. десятков *мкв* до неск. *мв* за время, в течение к-рого установка должна работать без регулировки нулевого уровня. Кроме малости дрейфа нулевого уровня и большого коэфф. усиления в рабочей полосе частот, О. у. должен удовлетворять следующим осн. требованиям: иметь малое выходное сопротивление (обычно <1 *ом*) и большое входное сопротивление собственно усилителя ($\geqslant 1$ *Мом*), обеспечивать достаточное выходное напряжение и ток ($U_{вых} \geqslant$ $\geqslant 100$ *в*, $I_{вых} \geqslant 10$ *ма*), сохранять устойчивость при изменении в широких пределах параметров цепи обратной связи, обеспечивать возможность установки нулевого уровня и сигнализацию о перегрузке, быстро восстанавливать рабочий режим после перегрузки.

Одна из типовых схем О. у., получившая широкое распространение (рис. 2), представляет собой трехкаскадный усилитель пост. тока без автоматич. компенсации дрейфа нулевого уровня. Здесь Z_{oc} — сопротивление, включ. параллельно усилителю, Z_1 — входное сопротивление. Первый каскад выполнен по несимметричной параллельно-балансной схеме (или схеме с катодной компенсацией дрейфа нулевого уровня). Благодаря большей крутизне хар-ки правой половины лампы, работающей катодным повторителем, удается так подобрать параметры схемы, что при изменении в нек-рых пределах напряжения накала анодный ток левой половины лампы не изменяется. Благодаря этому удается уменьшить дрейф нулевого уровня каскада до нескольких *мв/час*. Второй и третий каскады построены по обычным схемам на пентодах. Связь между каскадами осуществляется с помощью делителей (R_4, R_5 и R_7, R_8), к-рые обеспечивают нужное смещение на сетках последующих каскадов. Конденсаторы C_1, C_2, C_3, C_4 служат для коррекции частотных хар-к и обеспечения устойчивости. Усилитель имеет следующие параметры: $|K(j\omega)| \approx 8 \cdot 10^4$ в диапазоне частот 0—10 *гц*, дрейф нулевого уровня порядка 3 *мв/час*, $R_0 > 10$ *Мом*, $R_{вых} \approx \frac{2 \cdot 10^4}{|K(j\omega)|}$ *ом*, $U_{вых,макс} \geqslant \pm 100$ *в* при нагрузке 10 *ком*. Часто на входе О. у. применяется последовательно-балансный каскад (рис. 3), к-рый обеспечивает более однородный режим для обеих ламп, что позволяет снизить дрейф нулевого уровня до 0,5—1 *мв/час*. Для обеспечения малого выходного сопротивления применяют несимметричный последовательно-балансный каскад (рис. 4), в к-ром при большом сигнале на выходе почти весь ток, отбираемый каскадом от источников анодного питания, протекает через нагрузку. В О. у. иногда применяется внутр. положит. обратная связь, к-рая позволяет уменьшить число каскадов. К достоинствам усилителя пост. тока без автоматич. компенсации дрейфа нулевого уровня, помимо простоты, относятся малое время переходного процесса после не-

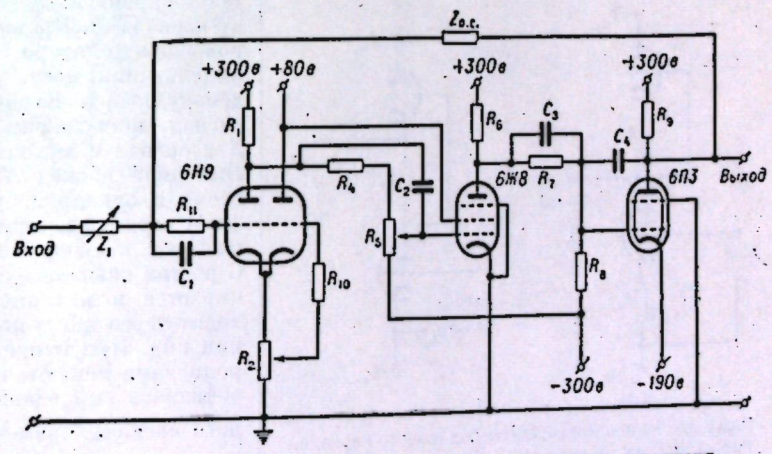


Рис. 2. Типовая принципиальная схема операционного усилителя.

регрузки и возможность обеспечить очень низкий уровень помех (паразитной перем. составляющей, фона) на выходе.

На рис. 5 показана блок-схема усилителя, позволяющая значительно уменьшить дрейф нулевого уровня и повысить коэфф. усиления на НЧ. В схеме, помимо обычного усилителя пост. тока I, имеются усилитель перем. тока II, модулятор M, демодулятор $ДМ$, фильтр $Ф$, к-рые образуют дополнит. канал усиления пост. тока (т. н. усилитель МДМ) с коэфф. усиления $K_{МДМ}$. Если пренебречь собств. дрейфом нулевого уровня усилителя МДМ (к-рый удается снизить до ничтожной величины), дрейф нулевого уровня всей схемы, приведенный ко входу, снижается в $(1+K_{МДМ})$ раз, поскольку между точкой приложения возмущения, эквивалентного дрейфу, и суммирующей точкой Σ передаточный коэфф. возрастает с единицы до $K_{МДМ}$. На рис. 6 дана схема такого О. у. Нижняя часть схемы образует канал МДМ, на входе к-рого имеется фильтр (R_1, R_2, C_1), препятствующий проникновению ВЧ сигналов. R_3 и левый контакт вибропреобразователя $ВП$ выполняют

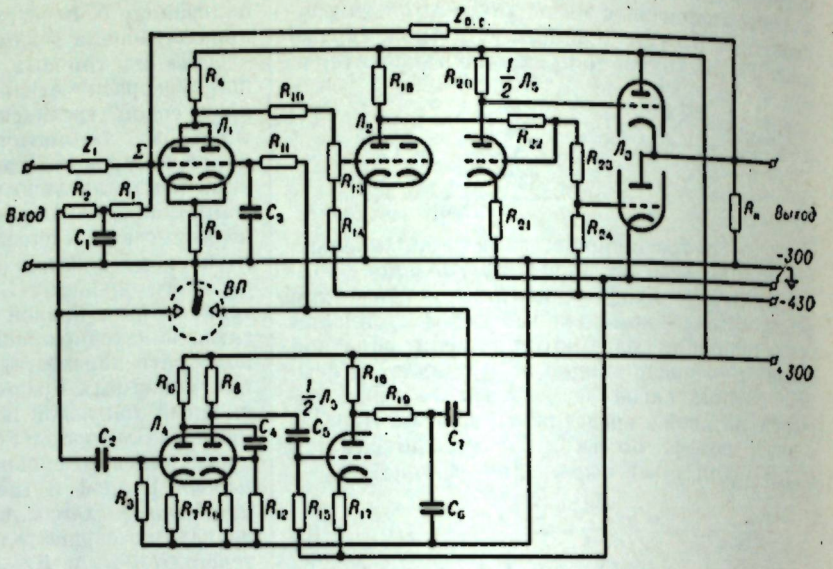


Рис. 6. Принципиальная схема усилителя со стабилизацией дрейфа нулевого уровня.

роль модулятора. $Л_4$ и $\frac{1}{2}Л_5$ образуют усилитель перем. напряжения с RC-связью между каскадами. Правый контакт $ВП$ выполняет роль демодулятора. R_{11}, C_3 образуют фильтр, выделяющий пост. составляющую с выхода демодулятора. Входной каскад $Л_1$ суммирует сигнал, поступающий с суммирующей точки Σ и сигнал с выхода канала МДМ — $U_{МДМ}$. Выходной каскад $Л_3$ собран по экономичной схеме с одноврем. управлением (в противофазе) верхней и нижней лампами. Нач. анодный ток каскада выбирается весьма малым. С ростом сигнала одна из ламп полностью запирается и весь анодный ток др. лампы проходит через нагрузку, что обеспечивает высокий кпд. При изменении полярности сигнала роли ламп меняются. Для обеспечения противофазного управления обеими лампами выходного каскада применен фазоинвертор $\frac{1}{2}Л_5$.

Усилитель имеет следующие параметры: $|K(j\omega)| \approx 10^7$ (на нулевой частоте); $|K(j\omega)| \approx 2 \cdot 10^4$ (на частоте 10 *гц*); дрейф нулевого уровня порядка 100 *мкв* за 8 часов; $R_0 \approx 3$ *Мом*; $R_{вых} \approx \frac{5 \cdot 10^3}{|K(j\omega)|}$ *ом*; $U_{вых,\ макс} \geqslant \pm 100$ *в* при нагрузке 10 *ком*. К недостаткам схем подобного типа относятся: необходимость в стабилизиров. источниках питания, длит. переходный процесс после перегрузки, зависимость дрейфа нулевого уровня от величины сеточного тока 1-й лампы.

Рис. 3.

Рис. 4.

Рис. 3. Схема последовательно-балансного каскада.
Рис. 4. Схема несимметричного последовательно-балансного каскада.

Рис. 5. Структурная схема операционного усилителя со стабилизацией дрейфа нулевого уровня.

На рис. 7 дана блок-схема усилителя с параллельными каналами, позволяющая избежать перечисл. недостатков. Входной сигнал разделяется по частоте: пост. составляющая и очень НЧсоставляющая усиливаются каналом МДМ, более ВЧсоставляющая усиливается верхним каналом перем. тока. Сигналы с выхода обоих каналов суммируются на входе усилителя пост. тока. Поскольку как усилитель МДМ II, так и усилитель перем. тока I практически не обладают дрейфом нулевого

уровня, общий дрейф схемы равен дрейфу усилителя III, деленному на $K_{МДМ}$. При построении усилителя по такой блок-схеме удается устранить влияние сеточных токов входных ламп на дрейф нулевого уровня, существенно уменьшить постоянную времени фильтра

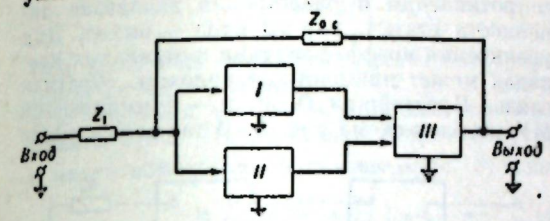


Рис. 7. Структурная схема операционного усилителя с параллельными каналами: I — усилитель перем. тока; II — усилитель типа МДМ; III — суммирующий усилитель и усилитель мощности пост. тока.

МДМ (что сокращает время переходного процесса после перегрузок) и использовать для питания усилителя нестабилизиров. источники питания. Схема усилителя с параллельными каналами усиления дана на рис. 8. Верхний

Параметры усилителя: $|K(j\omega)| \approx 2 \cdot 10^8$ на нулевой частоте; $|K(j\omega)| \approx 1{,}5 \cdot 10^4$ на частоте 100 *гц*; дрейф нулевого уровня ок. 30 *мкв* за 8 час.; $R_0 \approx 1$ *Мом*, $R_{вых} \approx \frac{800}{|K(j\omega)|}$ *ом*, $U_{вых,\ макс} \geqslant \pm 100$ *в* при нагрузке 3,3 *ком*.

Д. Е. Полонников.

О. у. полупроводниковый (О. у. ПП). Помимо О. у., построенных на электронных лампах, нередко применяются О. у. на ПП приборах. При этом осн. принципы построения схемы аналогичны рассмотренным выше. Отличие состоит лишь в особенностях, связанных с заменой ламп транзисторами.

Осн. показателями для О. у. ПП являются: величина временного и температурного дрейфа нулевого уровня выходного напряжения, диапазон изменения входного и выходного напряжений, величины входного и выходного сопротивлений и диапазон рабочих частот. Гл. причиной дрейфа нулевого уровня О. у. ПП является самопроизвольное во времени и с изменением темп-ры отклонение режима ПП приборов. Наиболее широко для таких усилителей применяются способы уменьшения

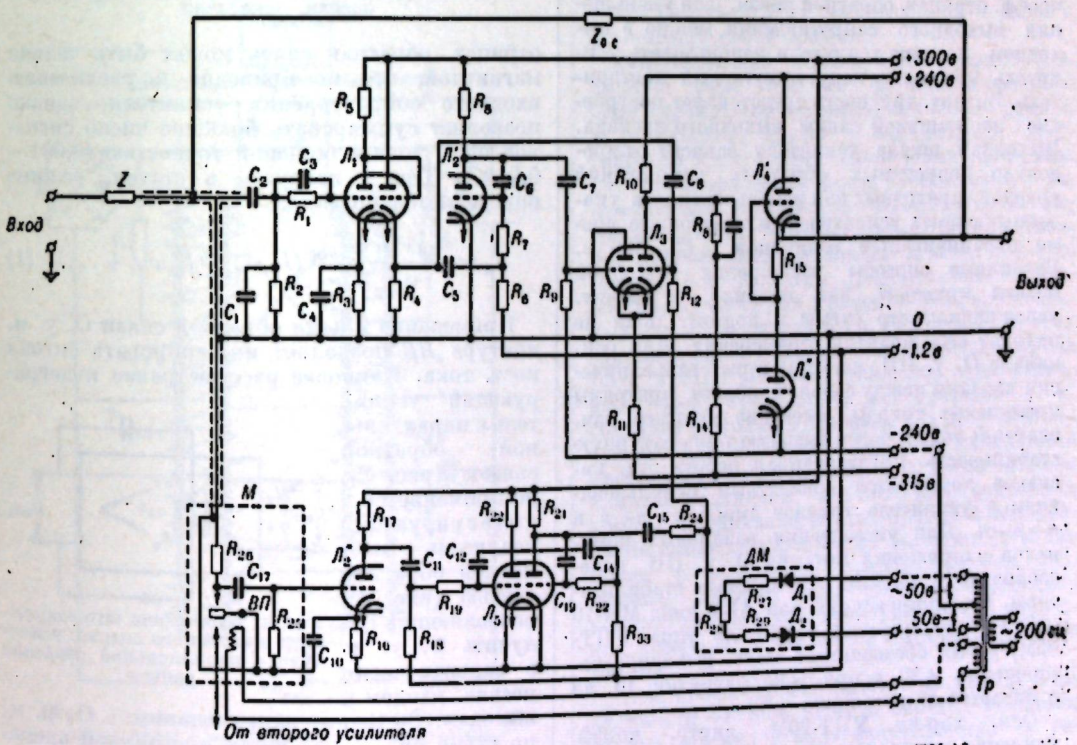


Рис. 8. Принципиальная схема трехканального операционного усилителя типа ТУ-10.

канал (усилитель перем. тока) образуют $Л_1$ и $Л_2'$ с относящимися к ним деталями. Канал МДМ имеет три каскада усиления ($Л_2''$, $Л_3$), модулятор M на контактном вибропреобразователе и демодулятор ДМ на кремниевых диодах. $Л_2$ выполняет роль суммирующего каскада усилителя пост. тока. Выходной каскад $Л_4$ выполнен по несимметричной последовательно-балансной схеме. В усилителе перем. тока имеется дополнит. канал C_8, работающий на частотах, при к-рых усиление $Л_2'$ становится < 1. Дополнит. канал позволяет существенно расширить полосу пропускания и повысить устойчивость усилителя.

дрейфа нулевого уровня, основанные на: 1) использовании в отдельных усилит. каскадах отрицат. *обратной связи*, 2) применении термокомпенсирующих элементов (термосопротивлений), 3) применении дополнит. усилителя автоматич. стабилизации нулевого уровня типа МДМ, в к-ром пост. напряжение преобразуется (модулируется) в переменное, усиливается и снова преобразуется (демодулируется) в постоянное.

Недостатком первого из указанных способов является уменьшение коэфф. усиления по напряжению в отд. каскадах, а второго — параметрич. способа, сложность и необходимость индивид. настройки каждого экземпляра усилителя. Наиболее предпочтителен

третий способ, при к-ром величина дрейфа нулевого уровня О. у. ПП обратно пропорциональна коэфф. усиления дополнит. усилителя. Модуляция пост. напряжений низкого уровня и демодуляция выходного напряжения в усилителе МДМ может осуществляться электромеханич. вибратором или бесконтактными преобразователями (кремниевые плоскостные триоды и диоды, т. к. они наиболее устойчивы к температурным воздействиям). Первый метод обеспечивает более высокую точность преобразования, однако уступает второму по надежности. Применение на входе усилителя составной схемы из эмиттерных повторителей с большим коэфф. усиления по току позволяет значительно повысить входное сопротивление усилителя. Эффективным средством уменьшения пост. составляющей тока на входе О. у. ПП является применение разделит. конденсатора между ВЧ (основным) каналом усилителя и усилителем МДМ. При этом входные сигналы НЧ усиливаются усилителем МДМ и затем поступают на вход оси. канала усилителя. Выходное сопротивление О. у. ПП зависит от схемы его оконечного каскада и коэфф. отрицат. обратной связи. Для уменьшения выходного сопротивления можно в выходном каскаде усилителя использовать усилитель мощности, напр. эмиттерный повторитель. Значит. трудности представляет построение экономичной схемы выходного каскада. Выходная шкала усилителя зависит от предельно допустимых обратных напряжений триодов, пригодных для использования в указанных схемах усилителей, и в настоящее время ограничивается величиной ±(20—30) *в*. Различные способы расширения выходной шкалы приводят, как правило, к значит. усложнениям его схемы и поэтому пока не находят себе практич. применения. Для оси. канала О. у. ПП, каскады к-рых гальванически связаны между собой, наиболее пригодны кремниевые триоды, имеющие меньшее нач. значение тока и более высокую температурную стабильность. Согласованная работа отд. каскадов достигается совместным использованием в усилителе триодов типов *p—n—p* и *n—p—n*. Для уменьшения различных номиналов напряжения питания О. у. ПП целесообразно применять кремниевые стабилизаторы. В полупроводниковой АВМ типа МН-10 (СССР) используется усилитель типа УПТ-20М, к-рый обеспечивает макс. выходное напряжение ±30 *в* при токе нагрузки 10 *ма* и питается от источника ±50 *в*.

Оси. хар-ки УПТ-20М: внутр. коэфф. усиления на постоянном токе — 10^6, на частоте 100 *гц* — $5 \cdot 10^3$; фазовый сдвиг на частоте 100 *гц*—3′; дрейф за 8 час.—3 *мв*; температурный дрейф в интервале 20—40°С—0,1 *мв/град*; фоновая составляющая при коэфф. усиления, равном 1—5 *мв*.

Я. И. Гриня.

Лит.: Коган Б. Я., Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования, М., 1959; Полоников Д. Е., Широкополосные решающие (операционные) усилители, «АиТ», 1960, т. 21, № 12; Петров Г. М., Попов В. А., О построении операционного усилителя на полупроводниковых элементах, «Приборостроение», 1958, № 3; Петров Г. М., Ушаков В. Б., Малогабаритная аналоговая математическая машина МН-10 на полупроводниках, там же, 1959, № 1.

ОПЕРАЦИОННЫЙ УСИЛИТЕЛЬ МАГНИТНЫЙ (operational magnetic amplifier; amplificateur magnétique opérationnel; magnetischer Operatorverstärker) — магнитный усилитель (МУ) с отрицат. *обратной связью*, обычно многокаскадный, предназначенный для выполнения определ. математич. операций. Отрицат. обратная связь (магнитная или электрическая) применяется для стабилизации коэфф. передачи, увеличения входного сопротивления и расширения диапазона линейности статич. хар-ки вход — выход. Для увеличения коэфф. усиления в отдельных каскадах может применяться положит. обратная связь. Простейший О. у. м.— суммирующий МУ по блок-схеме рис. 1. В таком усилителе

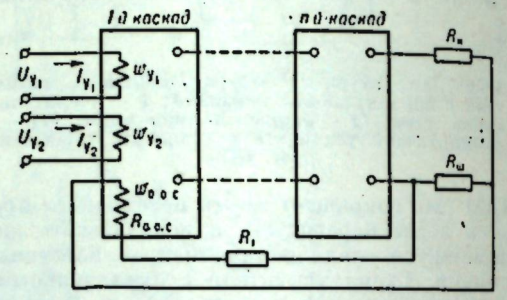


Рис. 1. Блок-схема суммирующего магнитного операц. усилителя.

отрицат. обратная связь может быть только магнитной, что не приводит к увеличению входного сопротивления усилителя, однако позволяет суммировать большое число сигналов пост. тока с большой точностью (0,001—0,01%). Ток в нагрузке в статич. режиме определяется по ф-ле:

$$I_н = \frac{R_ш + R_1 + R_{ooc}}{w_{ooc} R_ш} (I_{y_1} w_{y_1} + I_{y_2} w_{y_2} + \ldots). \quad (1)$$

Применение в цепи обратной связи О. у. м. контура *RC* позволяет интегрировать сигнал пост. тока. Наиболее распространен интегрирующий усилитель с параллельной обратной связью (рис. 2), но применяется и интегрирующий усилитель с магнитной обратной связью (рис. 3), позволяющий получить О. у. м. с гальванически несвяз. входом и выходом. Выходное напряжение для О. у. м. по схеме рис. 2 без учета постоянной времени самого МУ равно:

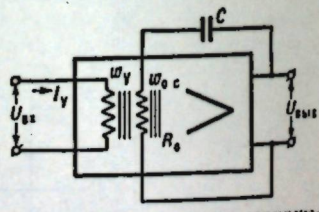


Рис. 2. Блок-схема интегрирующего магнитного операц. усилителя с параллельной обратной связью.

$$U_{вых} = U_{вх} \frac{k_U}{1 + R/R_0} \cdot \frac{1}{1 + Tp}, \quad (2)$$

где $k_U = U_{вых}/U_0$ — коэфф. усиления по напряжению, $T = \frac{1 + k_U}{1 + R/R_0} \tau$ — постоянная времени О. у. м. ($\tau = RC$), p — оператор. При $K_0 \to \infty$ передаточная ф-ция имеет вид передаточной ф-ции лампового операц. усилителя (см. *Операционный усилитель*).

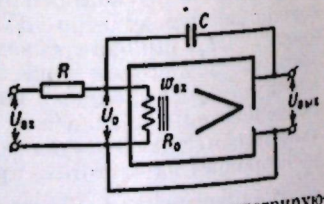


Рис. 3. Блок-схема интегрирующего магнитного операц. усилителя с магнитной обратной связью.

Для передаточной ф-ции интегрирующего О. у. м. с учетом постоянной времени цепи управления τ_y при условии, что $\tau \gg \tau_y$ и $\frac{k_U}{1 + R/R_0} \gg 1$ получим:

$$w(p) = \frac{k_U}{1 + R/R_0} \cdot \frac{1}{(1 + Tp)\left(1 + \frac{\tau_y}{k_U} p\right)}. \quad (3)$$

При $\tau_y = 0$ зона возможных частот интегрирования лежит в пределах от $1/T$ до ∞, а при $\tau_y \neq 0$ верхняя частота ограничивается отношением k_U/τ. Передаточная ф-ция О. у. м. с магнитной обратной связью (рис. 3) равна

$$w(p) = k\left(\frac{1 + p\tau}{1 + pT}\right), \quad (4)$$

где $\tau = R_0 C$, $T = (R_0 + w_{oc} k) C$, $k = U_{вых}/I_y w_y$.

Обычно $p\tau \ll 1$, тогда $w(p) \approx \frac{k}{1 + pT}$. (5)

Оси. требования, предъявляемые к О. у. м.: высокая стабильность нуля и возможность получения больших постоянных времени. Этим и определяется выбор схемы усилителя для конкретных условий. На рис. 4 дана схема

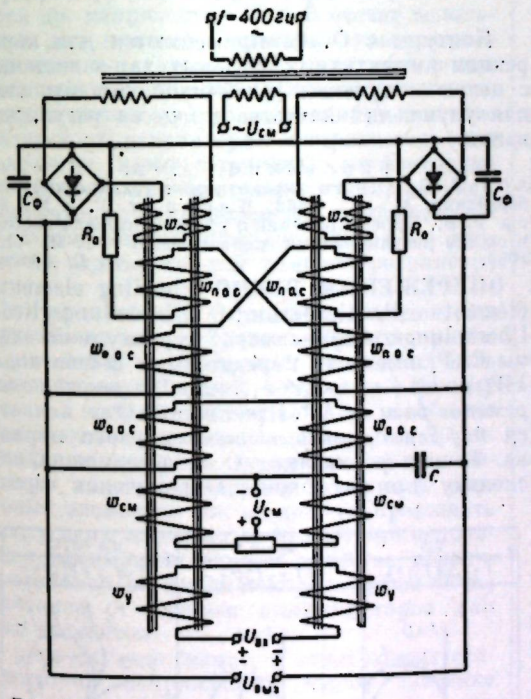


Рис. 4. Схема интегрирующего магнитного операц. усилителя с магнитной обратной связью.

О. у. м. с магнитной обратной связью. Здесь при коэфф. усиления по напряжению, равном 220, для С=30 *мкф* получена постоянная времени T=100 сек. при $U_{вых}$=100 *в*, а дрейф нулевого уровня при изменении темп-ры окружающей среды от 20°С до 50°С и изменении напряжения питания на ±10% от номинального не превышает 60 *мв* при непрерывной работе в течение 8 час. Снижение дрейфа нулевого уровня в многокаскадном О. у.м. достигается применением в первом каскаде МУ с низким порогом чувствительности, напр. МУ с выпрямлением четных гармоник.

Лит.: Розенблат М. А., Магнитные усилители, 3 изд., т. 1—2, М., 1960; Негневицкий С. Б., Применение магнитных усилителей в интегрирующих схемах, «АиТ», 1959, т. 20, № 10; Минина О. М., Сержерс В. С., Субботина Г. В., Пропорционально-интегрирующие и пропорционально-дифференцирующие элементы на *RC* цепях с магнитными усилителями, там же, 1961, т. 22, № 10.

Ф. И. Кербников.

ОПЕРАЦИЯ МАШИННАЯ (machine operation; opération de machine; Maschinen-Operation) — преобразования содержимого запоминающих ячеек программно управляемой ЭЦМ в процессе ее функционирования. Ячейки могут быть одноразрядными, предназнач. для хранения одной цифры, и многоразрядными, служащими для хранения кодов, состоящих из многих цифр. Для определенности рассмотрим машины, в к-рых применяются только двоичные цифры.

При выполнении каждой О. м. по исходным данным, содержащимся в определ. запоминающих ячейках, вырабатывается нек-рый код и производится его запись в нек-рую ячейку на место ее прежнего содержимого. Содержимое ячеек, из к-рых берутся исходные данные, изменяется только в том случае, если в одну из этих ячеек записывается результат. В зависимости от конструкции машин О. м. могут выполняться последовательно, так что результаты одних могут являться исходными данными для других, или одновременно — тогда результаты их записываются в различные между собой ячейки.

Запоминающие ячейки ЭЦМ играют различную роль при ее функционировании: одни хранят программы, исходные данные и результаты, другие — информацию, относящуюся к алгоритму выполнения программы. *Запоминающее устройство оперативное, запоминающее устройство внешнее, запоминающее устройство долговременное, перфорационные карты, перфорационные ленты*, а также *сумматор* и регистры *арифметического устройства* служат для хранения команд, исходных данных и результатов. Совокупность этих запоминающих ячеек назовем памятью. Кроме того, в ЭЦМ имеется несколько одноразрядных ячеек, предназнач. для хранения т. н. сигналов (сигнала ω, сигнала φ и др.), используемых для изменения порядка выполнения программы. Совокупность этих ячеек назовем памятью сигналов. Ячейка, наз. регистром команд, предназначена для приема в определ. время команд, подлежащих выполнению (быть может с предварит. преобразованием их). Ячейка, которая наз. регистром-счетчиком команд, служит для хранения номера очередной команды, подлежащей выполнению после данной.

О. м. целесообразно разбить на классы в зависимости от того, откуда берутся исходные данные для них и куда записываются их результаты. Внутри классов О. м. могут объединяться в группы.

К 1-му классу относят операции, для к-рых исходные данные берутся из памяти и результаты записываются в память. В этот класс входит группа арифметич. операций, группа, охватывающая поразрядные операции алгебры логики и операцию сдвига (см. *Логическая операция*, п. 1), и группа операций переноса из одной ячейки памяти в другую (с перфокарт или перфоленты в ОЗУ, из ОЗУ — на перфокарты, перфоленту или на печать, из ячейки ОЗУ в ячейку ОЗУ, из ячейки ОЗУ в ячейку АУ, из ячейки АУ в ячейку ОЗУ, из ячейки ОЗУ на магнитную ленту или магнитный барабан, с магнитной ленты или магнитного барабана в ячейку ОЗУ). Ко 2-му классу

относят все операции, результаты к-рых записываются в ячейки памяти сигналов. Эти операции наз. логическими (см. *Логическая операция*, п. 2). Класс логич. операций можно разбить на подклассы в зависимости от того, из каких ЗУ берутся для них исходные данные.

К 3-му классу относят О. м., результаты к-рых записываются в регистр команд. Сюда входят операция выборки команды из ОЗУ, операция переадресации в УУ на содержимое индексного регистра, операция переадресации в УУ на содержимое ячейки ОЗУ и др. В 4-й класс выделяют О. м., результаты к-рых записываются в регистр-счетчик команд. Они наз. также операциями перехода (от данной команды к др. команде программы — см. *Переход безусловный* и *Переход условный*). К 5-му классу относят операцию останова, являющуюся тождеств. преобразованием содержимого всех ЗУ машины (технически реализуется как прекращение функционирования машины). К 6-му классу — все остальные О. м., в частности операции переноса кода из ячейки ОЗУ в индексный регистр, операцию изменения содержимого индексного регистра, операцию формирования *команды возврата* (и ее записи в ячейку ОЗУ) и др. Каждая команда машины предусматривает выполнение нек-рой совокупности О. м. Между командами машины и О. м. нет взаимнооднозначного соответствия. Поэтому недопустимо смешивать понятия команды и О. м. Две машины, имеющие одинаковые системы (наборы) О. м., могут иметь различные *команд системы*. В разных машинах системы применяемых О. м. могут быть весьма разнообразными.

И. А. Кринецкий.

ОПЕРЕЖАЮЩАЯ ЦЕПЬ (leading circuit; chaîne d'anticipation; Überholungskreis, Uberholungsschleife) — электрич. четырехполюсник, обеспечивающий для нек-рой полосы частот положит. фазовый сдвиг (*опережение фазы*) выходного сигнала относительно входного. Простейшим примером О. ц. является *дифференцирующая цепь*, передаточная ф-ция к-рой

$$W(s)=a\frac{T_2 s+1}{aT_2 s+1};\quad T=R_1C;\quad a=\frac{R_2}{R_1+R_2}.$$

Фазовая хар-ка системы

$$\theta(\omega)=\operatorname{arc\,tg}\frac{(1-a)\omega T}{1+aT^2\omega^2}$$

дает значит. опережение фазы только для нек-рой области частот, определяемой значениями величин T и a:

$$\frac{1}{T}<\omega<\frac{1}{Ta}.$$

Макс. сдвиг по фазе, к-рый может быть получен,

$$\theta_m=\operatorname{arc\,tg}\frac{1-a}{2\sqrt{a}}=\operatorname{arc\,sin}\frac{1-a}{1+a},$$

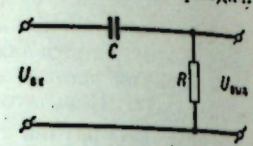
имеет место на частоте

$$\omega_m=\frac{1}{T\sqrt{a}}.$$

Эффект опережения в определ. области частот может быть осуществлен также и др. пассивными четырехполюсниками, напр. интегро-дифференцирующей цепью. Основным недостатком пассивных О. ц. является усиление ими ВЧ помех и ослабление сигнала по пост. току, что требует увеличения коэфф. усиления последующих элементов. Несмотря на эти недостатки, О. ц. находят широкое применение в САР для коррекции их динамич. хар-к.

И. И. Напиев.

ОПЕРЕЖЕНИЕ ФАЗЫ (phase lead; avance de phase; Phaseneinholung, Phasenüberholung) — опережение выходного периодич. сигнала пост. частоты относительно входного периодич. сигнала той же частоты, выраженное в угловых долях периода. При пост. параметрах системы О. ф. φ является ф-цией частоты входного сигнала и определяется по амплитудной фазовой (или фазовой частотной) хар-ке. Напр., если на вход простейшего дифференцирующего контура (рис.), состоящего из емкости C и сопротивления R, подано напряжение $U_{вх}=A\sin\omega t$, то на выходе оно будет $U_{вых}=B\sin(\omega t+\varphi)$ и О. ф.



Контур с опережением по фазе.

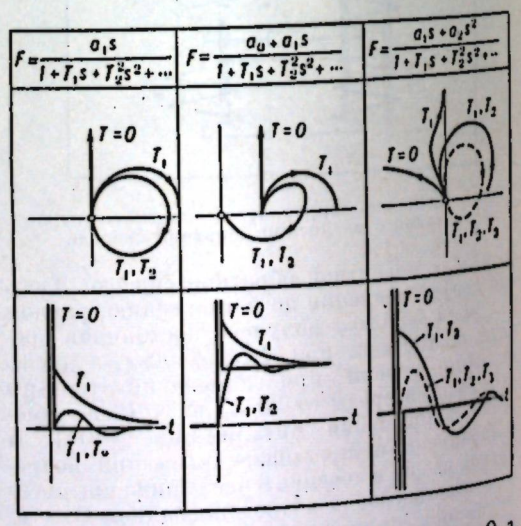
$$\varphi=-\frac{\pi}{2}\operatorname{arc\,tg}\omega RC.$$

Контуры с О. ф. применяются для коррекции амплитудных фазовых хар-к системы с целью получения устойчивой системы или для улучшения качества процесса регулирования.

Лит.: Красовский А. А., Поспелов Г. С., Основы автоматики и технической кибернетики, М.—Л., 1962; Честнат Г. и Майер Р. В., Проектирование и расчет следящих систем и систем регулирования, пер. с англ., т. 1, М.—Л., 1959.

А. Г. Аджян.

ОПЕРЕЖЕНИЯ ЗВЕНО (leading element; élément d'anticipation; Überholungsglied, Überholungszweig) — часть структурной схемы САР, имеющая передаточную ф-цию вида $kW(s)=k(1+a_1s+a_2s^2+\ldots+a_ns^n)$ и дающая *опережение фазы* в САР. Простейшим О. з. является *дифференцирующее звено* первого порядка. Точная реализация О. з. невозможна, поскольку при бесконечном увеличении частоты амплитудная фазовая характеристика О. з. устремляются в бесконечность, а переходная ф-ция представляет собой импульсную *единичную функцию*.



В реальных О. з. за счет инерционных масс, индуктивности и емкости, с ростом частоты опережение по фазе уменьшается и даже может появиться *отставание фазы*. При бесконечном возрастании частоты амплитудная фазовая хар-ка реальных О. з. стремится к нулю или к постоянной величине. Передаточная ф-ция реальных О. з. имеет вид:

$$kW(s)=\frac{k(1+a_1s+a_2s^2+a_3s^3+\ldots+a_ns^n)}{1+T_1s+T_2^2s^2+T_3^3s^3+\ldots+T_m^ms^n},\text{ где } m\geqslant n.$$

Как правило, коэфф. полинома знаменателя представляют относительно малые величины, и влияние их начинает сказываться лишь на ВЧ. При расчете реальных САР, работающих в области относительно НЧ, эффект запаздывания можно не учитывать.

В таблице приведены амплитудные фазовые хар-ки и переходные ф-ции неск. типовых идеальных и реальных О. з., где a_0, a_1, a_2,... — коэфф., s — комплексное переменное, T, T_1, T_2, T_3 — постоянные времени, t — время.

Лит.: Оппельт В., Основы техники автоматического регулирования, пер. с нем., М.—Л., 1960.

В. И. Гуков.

ОПОРНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ (reference voltage; tension de référence; Stützspannung) — напряжение, относительно к-рого отсчитывается др. напряжение. Такой отсчет используется для прямого сравнения измеряемого напряжения с эталонным, для измерения небольших относительных изменений напряжения, а также как сигнал ошибки в стабилизаторах и регуляторах напряжения (или др. величин, к-рые с помощью соответствующих датчиков преобразуются в напряжение). В регуляторах напряжения О. н. может оставаться неизменным или изменяться во времени по заданному для данного регулятора закону.

Если сравнение с О. н. производится для получения величины сравниваемого напряжения в вольтах, то величина О. н. должна быть известна с необходимой точностью. В этих случаях в качестве источников О. н. обычно используются нормальные элементы. Т. к. нормальные элементы допускают весьма небольшую токовую нагрузку (у насыщ. нормальных элементов ток не должен превышать 1 *мка*, у ненасыщенных — 10 *мка*) они используются преимущественно в качестве первичных эталонов, по к-рым контролируется О. н., получаемое от батареи аккумуляторов или сухих элементов.

В ряде случаев (напр., в электронных стабилизаторах напряжения) точное значение О. н. может быть неизвестно, необходима лишь определ. стабильность этого напряжения во времени. В этих случаях источниками О. н. с успехом служат газовые стабилизаторы (стабилитроны) и кремниевые диоды (типа Д-807—Д-813).

Газовые стабилизаторы в условиях пост. нагрузки и при отсутствии резких колебаний темп-ры (напр., в комнатных условиях) после установления теплового режима (на что обычно требуется 30—40 мин.) изменяют свое напряжение не более чем на 10^{-3} от своего номин. значения в течение часа. У кремниевых диодов осн. источник нестабильности напряжения — колебания темп-ры диода. Поскольку у большинства кремниевых диодов зависимость рабочего напряжения от темп-ры весьма близка к линейной:

$$E=E_0(1+\alpha_д\theta),\qquad \alpha_д\approx 6\cdot10^{-4},\qquad (1)$$

возможна простая схемная компенсация влияния температуры. Один из методов состоит в использовании компенсирующего делителя (рис.). Здесь:

$$U_{оп}=E_0(1+\alpha_д\theta)\frac{R_{20}(1+\alpha_2\theta)}{R_{10}(1+\alpha_1\theta)+R_{20}(1+\alpha_2\theta)},\qquad (2)$$

α_i — температурные коэфф. соответствующих элементов схемы, θ — темп-ра диода.

Ур-ние (2) позволяет найти такое соотношение параметров схемы, при к-ром выполняется условие:

$$\frac{\partial U_{оп}}{\partial\theta}=0,\qquad (3)$$

т. е. О. н., $U_{оп}$, становится независимым от темп-ры. Практически интересным случаем является случай, когда $\alpha_2\ll\alpha_1$; $\alpha_2\ll\alpha_д$ (напр., R_1 выполнено из меди, а R_2 — из манганина). В этом случае условие (3) выполняется при:

$$\frac{\alpha_д}{\alpha_1}=\frac{R_{10}}{R_{10}+R_{20}}.\qquad (4)$$

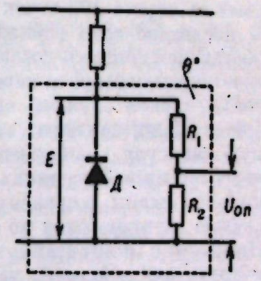


Схема температурной компенсации напряжения кремниевого диода.

Если, как это схематически показано на рис., компенсирующий делитель и кремниевый диод поддерживаются при одинаковой темп-ре (напр., находятся в общей масляной ванне), то при выполнении условия (4) относительные изменения $U_{оп}$ не превышают 10^{-4} на 1°С, и источник может с успехом применяться в прецизионных системах стабилизации напряжения и тока.

В нек-рых случаях в качестве источников О. н. используются высокостабильные окисно-ртутные элементы типа ОР.

Лит.: Эрглис К. Э. и Степаненко И. П., Электронные усилители, М., 1961; Декабрун Л. Л., Усилители и источники питания, ч. 1—2, М., 1961; Курс электрических измерений, под ред. В. Т. Прыткова и А. В. Талицкого, ч. 1, М.—Л., 1960.

Л. Л. Декабрун.

ОПРОС ВЕЛИЧИН (value sampling; exploration de valeur; Parameter Abfrage) — поочередное подключение датчиков контролируемых величин к общему узлу для обработки получаемых сигналов. Применяется при *контроле обегающем* и многоканальном телеизмерении с временным разделением каналов. Частота опроса величин и порядок его диктуются характером контролируемого процесса и требованиями к результату контроля. Ко входу обегающего переключателя подводятся электрич. или, реже, пневматич. сигналы. В последнем случае сигналом является давление воздуха, и каждый пневматич. канал соединяется с общим приемным узлом либо путем открытия электромагнитного клапана на выходе канала, либо при помощи вращающегося распределителя. Время опроса одной точки ок. 0,5—1 сек. Электрич. переключаемый сигнал модулируется по амплитуде, частоте, ширине импульса или кодом. Хотя погрешность переключения при амплитудной модуляции максимальна, но вследствие большей помехоустойчивости в промышленных условиях и удобства дальнейшей обработки сигнала широкое распространение получила передача к *обегающего цифрового контроля машине* сигналов пост.

тока, модулированных по амплитуде. В качестве переключателей используются как механич., так и электронные устройства. Достоинство механич. контактных переключателей — их высокая точность (собственный шум до неск. *мкв*) в широких пределах изменения темп-ры. Однако вращающиеся механич. переключатели имеют ограниченный срок службы (не более 2 тыс. час.) даже при малой частоте переключения (до 10 *гц*), с повышением же частоты переключения (максимально до 5 *кгц*) срок службы соответственно снижается. Переключатели с механич. контактом на электромагнитных реле позволяют достигнуть скорости переключения ок. 200 *гц*, но при этом срок службы даже для лучших реле не превышает 10 млн. срабатываний, что при непрерывном опросе 100 точек составит ок. 2 мес. В последние годы специально для О. в. при обегающем контроле созданы капсульные реле, сочетающие отличное качество контакта с высоким сроком службы; они представляют собой механич. контакты, запаянные в стеклянную капсулу. Обегающие переключатели строятся из набора таких реле и полупроводниковой схемы, управляющей последовательностью их включения по заданной программе. Якорьки с контактами притягиваются друг к другу под действием магнитного поля соленоида, охватывающего капсулу. Для реле с сухими контактами в капсуле, наполненной инертным газом, гарантируется срок службы 20 млн. срабатываний при частотах до неск. сот *гц*, а для реле с ртутным смачиванием контактов — не менее 10 млрд. срабатываний при частотах до 300 *гц*. Для получения более высоких скоростей опроса (до неск. сот *кгц*) и большего срока службы (десятки и сотни тысяч часов) применяются переключатели на полупроводниковых диодах или триодах. Точность промышленных полупроводниковых переключателей обычно не выше 2 *мв*, поэтому для контроля с точностью 0,1% полупроводниковыми переключателями можно коммутировать только сигналы, имеющие уровень в неск. вольт.

Лит.: Шенброт И. М., Централизованный контроль технологических процессов, М.—Л., 1961; Scanners, «Instrum. and Automat.», 1958, v. 31, № 8, p. 1352—56; Guide to selecting telemetering commutator, «Electronic Design», 1961, v. 9, № 7, p. 40—44.

И. М. Шенброт.

ОПТИКА ВОЛОКОННАЯ, волосяная оптика, фибровая оптика (fiber optics; optique fibrilleuse; Fiberoptik),— раздел прикладной оптики, связанный с применением тонких и длинных волокон (фибров) для передачи световой энергии, в частности — световых изображений. О. в. возникла и получила развитие вследствие того, что с ее помощью можно устранить существ. недостатки, свойственные обычным (линзовым, электрооптич.) системам, предназначенным для тех же целей.

В основе О. в. лежит явление полного внутр. отражения — луч света, распространяющийся в более оптически плотной среде, достигая границы ее с менее плотной средой, полностью отражается от этой границы, если только угол падения не меньше угла полного внутр. отражения

$$\alpha = \arcsin (n_2/n_1),$$

где n_1 и n_2 — показатели преломления первой и второй среды.

Если в длинный сплошной цилиндр из прозрачного материала, находящийся в менее плотной среде (напр., в воздухе), через один из торцов входит луч света, причем синус угла между направлением этого луча и осью цилиндра

$$\sin 0 = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2}/n_2,$$

(n_2 относится к воздуху, n_1 — к материалу цилиндра), то такой луч будет испытывать многократное полное внутр. отражение от боковой поверхности цилиндра и выйдет только из второго торца этого цилиндра. Это — простейший способ передачи световой энергии. Однако имеют место потери, связанные с поглощением световой энергии при каждом отражении от несовершенной боковой поверхности цилиндра (в связи с этим на эффективную передачу световой энергии существенно влияет качество обработки боковой поверхности цилиндра). Для передачи изображения такой способ (по одному светопроводу) непригоден, т. к. лучи, исходящие из различных элементов изображения, будут, попадая внутрь такого цилиндрич. светопровода, «перемешиваться» между собой так, что на др. конце светопровода картина получится самая неопределенная. Поэтому свет от каждого элемента изображения должен направляться по отдельному светопроводу, причем, чем меньше диаметр каждого отдельного светопровода, тем точнее будет воспроизводиться изображение на выходе. В связи с этим для передачи изображений используются плотные связки («жгуты») стеклянных волокон (фибров), имеющих диаметр до неск. *мк* и обладающих большой гибкостью, позволяющей произвольно изменять направление световых лучей. Торцы «жгута» должны быть плоскими. Поскольку при непосредств. контакте между волокнами возможна утечка световой энергии из одного волокна в соседние (полного внутреннего отражения от границы раздела двух сред с равными показателями преломления не происходит), каждое волокно заключается в оболочку из материала (обычно — также из стекла) с меньшим показателем преломления; кроме того, сама эта оболочка покрывается тонким слоем металла (напр., индия или алюминия).

Для получения таких волокон стержень из материала с показателем преломления n_1 помещают в трубку из материала с меньшим n_2; с помощью механизма протяжки такой составной стержень направляется в цилиндрич. нагреват. печь, в средней части к-рой он расплавляется и далее вытягивается под действием собственного веса в тонкую нить; эта нить проходит через V-образную лодочку с расплавл. металлом и далее наматывается на катушку. Оба материала (стекла различных сортов) должны иметь близкие коэфф. расширения и одинаковые точки размягчения. Диаметр нити определяется исходными размерами стержня и трубки, скоростью протяжки, темп-рой печи и скоростью намотки. Исходное соотношение диаметров стержня и трубки приблизительно сохраняется и в волокне. Таким путем удается получить волокна диаметром до 10 *мк*. Трудности при их использовании связаны с тем, что при диаметрах меньше 25 *мк* волокна становятся хрупкими. Поэтому большое число таких волокон заключают в матрицу, т. е. цилиндрич. обо-

лочку большего диаметра из материала с малым показателем преломления. При диаметре матрицы 50 *мк* она содержит 275 волокон диаметром 2 *мк* и, т. о., при необходимой мех. гибкости позволяет добиться высокой степени разрешения в изображении: в статич. условиях такая система позволяет разрешить 100 линий на *мм*, а при динамич. сканировании — 200 линий на *мм*.

Наибольшее применение О. в. находит при использовании совместно с электронолучевыми устройствами, создающими видимое изображение. Если изображение, возникающее на экране электронолучевой трубки, передавать (напр., для фотографич. регистрации) с помощью обычной линзовой системы, то в лучшем случае удастся собрать лишь неск. % % всей световой энергии, излучаемой с экрана трубки; большие потери связаны с отражением света от передней поверхности экрана (ок. 60% света уходит в связи с этим на образование ореола) и с малой аппертурой линзовой системы; при увеличении же аппертуры резкость изображения, создаваемого этой системой на большой поверхности, будет ухудшаться. Все указанные недостатки устраняются, если в качестве поверхности экрана использовать поперечный срез большой связки волокон, нанося на него слой фосфора. Тогда возникающее здесь изображение без искажений будет передаваться на противоположный конец этого пучка волокон. Совершенно просто решается проблема получения плоского изображения (электронолучевая трубка не позволяет добиться фокусировки изображения на плоскости, и поэтому экран при большой площади изображения неизбежно должен иметь искривленную поверхность): первый срез с нанесенным на него слоем фосфора должен иметь искривленную поверхность (для получения нужной фокусировки), а второй срез, на к-ром изображение наблюдается, делается плоским. Ореол, неизбежный в электронолучевой трубке и значительно ухудшающий контраст изображения, здесь полностью исключается. Таким путем от фосфора к фотопластинке, напр., можно передать 70—90% излучаемого света без к.-л. искажений изображения (они могут возникнуть лишь при дифракции в очень тонких волокнах с диаметром ~1 *мк*). Если волокна имеют конич. форму, так что связка волокон к одному из концов расширяется, то на этом конце будет получено увеличенное изображение. Единств. требование, к-рое необходимо строго соблюсти,— не перемешивать между собой волокна в пучке, а вести их строго параллельно. С др. стороны, меняя взаимное расположение волокон в связке, можно, напр., изменить характер развертки, получаемой на экране (вертикальную перевести в горизонтальную и т. п.). Если волокна перемешаны только в средней части связки, то, разрезая связку как раз в этом месте, получают закодированное изображение, к-рое удастся прочитать только с помощью оставшейся части той же связки. Т. к. волокон в связке чрезвычайно много и перемешивать их можно самыми разнообразными способами, то ясно, что благодаря этому можно закодировать изображение практически бесконечным количеством способов. Аналогично используются плотные связки волокон вместо стеклянных подложек и прослоек в многоступенчатых усилителях изображения. Также они могут служить и для получения изображения в цветном телевидении. На описанном выше принципе основано применение О. в. в фотоумножителях, радарных установках, считывающих системах. Большая гибкость волокон позволяет широко использовать их для передачи световой энергии к фотодетекторам. На основе О. в. разработано самопрограммирующееся устройство для распознавания полезных звуковых сигналов (см. *Скептрон*). Интересные возможности связаны с применением для изготовления волокон тех стекол, в к-рых обнаружен лазерный эффект (см. *Лазер*). В таких волокнах можно добиться значит. усиления яркости первоначального изображения. Использование О. в. позволяет осуществить передачу информации по *каналу связи оптическому*.

Лит.: «Optica Acta», 1960, v. 7, № 3, p. 201; «J. Opt. Soc. America», 1961, v. 51, № 5, p. 499; № 10, p. 1079; Новотный (Novotny G. V.), Волоконная оптика в электронике, «Электроника», рус. пер., 1962, т. 35, № 22.

М. М. Горшков.

ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ КРИТЕРИЙ (optimal control criteria; critères de commande optimale; Kriterien der optimalen Steuerung)—числовая величина, определенным образом зависящая от изменения во времени или пространстве координат и параметров объекта и характеризующая эффективность достижения цели управления. В качестве такого критерия оптимальности (КО) могут быть выбраны различные технич. или экономич. показатели — напр., время перехода системы из одного состояния в др., ср. отклонение к.-л. параметра от заданного значения в определ. промежуток времени, производительность объекта, нек-рый показатель качества продукции, затраты сырья или энергоресурсов и т. д. Обоснование выбора КО выходит за рамки теории оптим. управления.

О. у. к. является, как правило, или числовой ф-цией от конечного числа параметров управляемой системы или функционалом, зависящим от ф-ции управления и состояния управляемого объекта. Различают О. у. к. статистический, характеризующий эффективность систем управления при наличии случайных воздействий, и нестатистический или регулярный. Классифицировать КО можно по-разному, напр. в зависимости от того, относятся ли они к переходному или установившемуся процессу в системе. Пример критериев этого типа — интегр. критерии качества в линейных САР [1]. Так, обобщ. интегр. критерий качества имеет вид:

$$I = \int_0^\infty V\,dt,$$

где $V = \sum_{i,j=1}^{n} a_{ij} x_i x_j$ и $x_i, i = 1, 2, \ldots, n$—координаты САР. Задаваясь значениями коэфф. a_{ij} и выбирая параметры системы так, чтобы минимизировать интеграл I, получают переходный процесс, в к-ром нет длительных больших отклонений заданной координаты или больших скоростей и ускорений. Др. типы О.у.к. описаны в [1].

Для систем с распределенными параметрами, состояние которых описывается ф-цией, зависящей не только от времени, но и от пространств. переменных, О. у. к. могут иметь вид кратных интегралов, причем инто-

грирование ведется не только по времени, но и по пространств. областям [2]. Напр., может быть поставлена следующая задача: так управлять объектом с распредел. параметрами, состояние к-рого описывается ф-цией распределения $Q(x,y,t)$ (x и y — пространств. переменные, меняющиеся в области D, t — время), чтобы в фиксиров. момент времени $t=T$ квадратичное уклонение по области D ф-ции $Q(x, y, T)$ от заданной ф-ции $Q^*(x, y)$ было минимально, т. е. чтобы интеграл $I=\int\limits_D [Q^*(x, y)-Q(x, y, T)]^2\, dxdy$ достиг своего миним. значения.

Регулярный О. у. к. обычно задается в виде определ. ф-ции от параметров или функционалом от управляющих воздействий и координат объекта. Широкий класс оптим. систем характеризуется интегр. критериями. Напр., если объект описывается системой обыкнов. дифференц. ур-ний

$$\frac{dx_i}{dt}=f_i(x_1, \ldots, x_n, u_1, \ldots, u_r),$$

где $x_1, \ldots, x_n$—координаты объекта, а $u_1, \ldots, u_r$ — управляющие воздействия, являющиеся функциями времени t, то критерий оптимальности можно взять в виде интеграла от известной ф-ции $f^0(x_1, \ldots, x_n, u_1, \ldots, u_r)$

$$I=\int\limits_{t_0}^{t_1} f^0(x_1, \ldots, x_n, u_1, \ldots, u_r)\, dt,$$

к-рый в данном случае является функционалом от координат объекта и управляющих воздействий [3]. Напр., если

$$f^0(x_1, \ldots, x_n, u_1, \ldots, u_r)=1,$$

то $I=t_1-t_0$, и критерий становится критерием минимума времени перехода системы из одного состояния в др. Если

$$f^0(x_1, \ldots, x_n, u_1, \ldots, u_r)=\sum_{i=1}^{n}(x_i^*-x_i)^2,$$

где $x^*_i=x^*_i(t), i=1, 2, \ldots, n$ — заданные ф-ции времени, то получается критерий квадратичного уклонения.

Для управляемых систем с распредел. параметрами, в к-рых состояние объекта описывается ф-циями распределения состояний, зависящими не только от времени, но и от пространств. переменных, интегр. критерии имеют более сложный вид, т. к. интегрирование в общем случае ведется не только по времени, но и по пространств. области [2].

В задачах оптим. настройки САР, где необходимо получить приемлемый переходной процесс, применяются интегр. критерии качества, к-рые уже в данном случае являются не функционалами, а ф-циями от конечного числа настроечных параметров системы. Одним из распространен. видов критериев в этом случае является т. н. обобщенный интегр. критерий

$$I=\int\limits_0^\infty \sum_{i,j=1}^{n} a_{ij}x_ix_j\, dt,$$

зависящий от ряда настроечных параметров системы $p_1, \ldots, p_s$ (коэфф. усиления, постоянные времени и т. д.) [1]. Здесь a_{ij} — пост. коэфф., а x_i, $i=1, 2, \ldots, n$ — координаты системы. Минимальность интеграла I как ф-ции от параметров $p_1, \ldots, p_s$ при надлежащем выборе коэфф. a_{ij} обеспечивает, напр., достаточное быстродействие и плавность работы системы регулирования.

Несколько необычным критерием, который не может быть выражен через обычный интеграл, является т. н. минимаксный критерий. Оптим. процесс в этом случае определяется тем, что минимизируется максимальное (наибольшее) отклонение определ. координаты системы от нек-рого заданного значения. Напр., нужно найти такие значения настроечных параметров

$$p_1, \ldots, p_s,$$

чтобы для координаты $x(t)$, изменяющейся во времени $0\leqslant t\leqslant\infty$, выполнялось бы условие

$$\max_{0\leqslant t\leqslant\infty}|x^0(t)|=\min_{p_1, \ldots, p_s}\max_{0\leqslant t\leqslant\infty}|x(t)|,$$

где $x^0(t)$ процесс $x(t)$ при оптим. настройке.

Лит.: 1) Фельдбаум А. А., Электрические системы автоматического регулирования, 2 изд., М., 1957; 2) Бутковский А. Г., Принцип максимума для оптимальных систем с распределенными параметрами, «АиТ», 1961, т. 22, № 10; 3) Понтрягин Л. С. [и др.], Математическая теория оптимальных процессов, М., 1961; 4) Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 2 изд., М., 1960.

А. Г. Бутковский.

Статистические О. у. к. применяются к системам управления, когда: 1) на входе системы имеются сигналы, являющиеся случайной ф-цией времени, 2) отдельные элементы системы содержат источники случайных возмущений, 3) имеет место и то и др. одновременно. При этом необходимо спроектировать систему в целом так, чтобы она была в нек-ром смысле оптимальной.

Пусть имеется схема системы управления (рис.), включающей объект регулирований, который не могут выбирать произвольно, и регулятор, на выбор к-рого не наложено существ. ограничений. Напр., если регулируется турбина, то, по-видимому, имеются различные ограничения при выборе типа турбины. Если имеется следящая система, то роль объекта выполняют неизменные элементы системы (двигатель, редуктор и т. д.). Объект регулирования обычно описывается неслучайным оператором A так, что

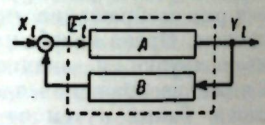


Схема системы регулирования с обратной связью

$$Y=A_\tau^t E_t,$$

E_t— сигнал ошибки. (Неслучайный оператор каждой ф-ции на входе системы ставит в соответствие единств. ф-цию на выходе. Случайный оператор каждой ф-ции на входе объекта ставит в соответствие множество ф-ций на выходе). Вид оператора A может варьироваться. Для непрерывных систем с сосредоточ. параметрами ф-ции Y_t и E_t могут быть связаны дифференциальными или, в более общем случае, интегро-дифференц. ур-ниями. Для систем с распредел. параметрами объект описывается ур-ниями в частных производных. Для дискретных систем оператор A определяется разностными ур-ниями.

Регулятор описывается оператором B. Пусть на входе системы управления (на рис. обведена пунктиром) действует случайный сигнал X_t, к-рый в простейшем случае можно считать аддитивной смесью «полезного» сигнала S_t и «шума» Z_t:

$$X_t=S_t+Z_t.$$

В общем случае смесь может быть неаддитивной. Необходимо так выбрать регулятор (оператор B), чтобы система управления в целом была оптимальна в нек-ром смысле.

Если бы в каждой точке системы сигналы были неслучайными, то для этого достаточно было бы воспользоваться соответствующим критерием оптимальности.

Но X_t является случайным и, следовательно, в каждой точке системы сигналы — случайные ф-ции (в частности, случайной является ошибка E_t и сигнал на выходе Y_t).

Если объект или регулятор системы содержит в себе источники случайных возмущений, то сигналы в различных точках системы управления могут оказаться случайными при неслучайных сигналах на входе.

Все реальные объекты (напр., лампы, сопротивления и пр.) содержат в себе источники случайных возмущений и должны описываться статистически. В первом приближении их описывают детерминистически. Однако в ряде случаев такое приближение недопустимо.

Применительно к объекту, показ. на рис., если $E_t=e_t(0\leqslant t\leqslant T)$, где e_t — реализация случайного сигнала ошибки, то сигнал Y_t остается случайным, т. е. в объекте содержатся источники случайных возмущений. Если на вход системы регулирования, содержащей такой объект, подается неслучайный сигнал, на ее выходе тем не менее сигнал оказывается случайным.

Сигналы в разных точках системы могут оказаться случайными: а) когда сигнал на входе системы является случайным, при этом элементы системы могут не иметь источников случайных возмущений; б) когда сигнал на входе системы неслучайный, но элементы системы содержат источники случайных возмущений; в) когда случаи а) и б) имеют место одновременно.

Если сигналы в разных точках системы управления — случайные ф-ции, то обычные критерии качества теряют смысл. В виде критериев качества системы управления обычно используются нек-рые функционалы (или операторы) сигналов в различных точках системы. Вид такого функционала зависит от требований, предъявляемых к системе. Напр., можно требовать, чтобы оптим. система (ОС) обеспечивала минимум функционала вида:

$$a=\int\limits_0^\infty e^2(t)\, dt$$

или функционала

$$a_1=\lim_{T\to\infty}\frac{1}{T}\int\limits_0^T e^2(t)\, dt,$$

где $e(t)$ — ошибка в системе.

В случае линейных систем a и a_1 легко можно выписать в явном виде как функционалы от весовой ф-ции системы. Когда сигнал X_t является случайным, функционал, определяющий качество системы (в частности, a и a_1), также оказывается случайной величиной. При этих условиях система управления оптимальна, если та или иная статистич. хар-ка (напр., ф-ции распределения, моменты) этой случайной величины достигает экстремума. В этом состоит логич. обобщение понятия оптимальности для систем со случайными сигналами. Ниже приведены различные критерии, использующиеся для оптимальных в статистич. смысле систем.

I. Критерий минимума среднего квадрата ошибки. Используется также критерий минимума ср. квадратичной ошибки, к-рая равна корню квадратному из ср. квадрата. Этот критерий тождествен с критерием минимума ср. квадрата ошибки. Значительно ранее предвестником ОС в смысле минимума ср. квадрата ошибки был метод наименьших квадратов.

Система оптимальна в смысле минимума ср. квадрата ошибки, если величина

$$c=\mathrm{M}[E_t^2]\,(-\infty<t<+\infty),$$

где M [ ] — математич. ожидание случайной ф-ции, имеет минимум для каждого значения t.

Если процесс X_t на входе системы является нестационарным, то c зависит от времени, и параметры регулятора также должны зависеть от времени, чтобы обеспечить минимум для каждого значения t. Если процесс X_t стационарный (в широком или узком смысле) и система возбуждается при $t=-\infty$, то ее выход Y_t также является стационарным процессом. Тогда c не зависит от времени, и параметры ОС не зависят от времени. Разумеется, никакая реальная система не может в действительности возбуждаться при $t=-\infty$. Тогда сформулиров. условие эквивалентно следующему: после начала работы системы должно пройти достаточное время, чтобы возмущением системы, связанным с ее включением, можно было пренебречь. Получается квазистационарный процесс.

Идея о возможности уточнения истинных значений по результатам многократных измерений была известна весьма давно. Уже Гаусс и Лежандр [1, 2] использовали эту возможность для наиболее точного определения орбит планет: они применили метод наименьших квадратов. Обобщения, к-рые появились в связи с ОС, в осн. учитывают зависимость измерений $y_1, \ldots, y_n$ в отдельных опытах и нелинейную зависимость «сигнала» от параметров $\alpha_1, \ldots, \alpha_k$.

Нек-рые законченные результаты здесь получены в [3] и [5]. Появилось также большое число работ, обобщающих метод наименьших квадратов в различных направлениях [6], [7]. Однако по законченности и изяществу результатов и простоте счета результаты Гаусса и Лежандра до сих пор оказались непревзойденными.

В [5] содержится непосредств. распространение метода наименьших квадратов на случай коррелиров. значений (случайных процессов) и, что наиболее существенно, показано, как алгоритм счета может быть всегда реализован физич. устройством.

Вместе с тем до сих пор общее решение задачи ОС по критерию минимума ср. квадрата ошибки еще далеко от завершения.

Критерий минимума ср. квадрата ошибки обладает большой общностью. Благодаря своей

сравнительной простоте он получил широкое распространение при оценке св-в реальных систем с точки зрения их близости к ОС. Большое применение в технике получили различные частные виды ОС управления, основанные на критерии минимума c. Ниже перечислены нек-рые из них.

а) Система наилучшего выделения полезного сигнала из смеси сигнала с шумом. Пусть

$$X_t = S_t + Z_t,$$

где S_t и Z_t соответственно полезный сигнал и помеха, являющиеся случайными ф-циями времени.

ОС должна выделять наилучшим образом полезный сигнал S_t из смеси X_t. Такая система будет осуществлять оптим. фильтрацию полезного сигнала из смеси X_t. Вместе с тем она одновременно является системой управления, т. к. сигнал Y_t на ее выходе близок к нек-рому желаемому сигналу S_t.

Ошибка системы $E_t = S_t - \tilde{A} X_t$, где $\tilde{A}$ — оператор всей системы управления (объект и регулятор). Зная оператор объекта, можно определить оператор регулятора.

Известно точное выражение оператора ОС [6] [7]. Он имеет вид:

$$\tilde{A}^t_\tau X_\tau = \mathrm{M}\,[S_t / X_\tau (0 \leqslant \tau \leqslant t)].$$

Именно оператор ОС есть условное математич. ожидание случайной величины S_t при условии, что $X_t = x_\tau$ и $0 \leqslant \tau \leqslant t$, где x_τ — выборочная ф-ция процесса X_τ. Или иначе $\tilde{A}$ есть оператор регрессии S_t на $X_\tau (0 \leqslant \tau \leqslant t)$.

Эффективное вычисление $\tilde{A}$ по точной ф-ле встречает значит. трудности. Задача облегчается, если оператор искать в классе линейных. Тогда можно получить интегр. ур-ние для весовой ф-ции ОС. Подобная задача решалась в работе [5].

Если ограничить класс операторов линейными операторами, то ср. квадрат ошибки, разумеется, не будет достигать своего возможного минимума, т. к. в точном решении оператор регрессии не является в общем случае линейным. Лишь когда условное распределение S_t относительно X_τ является гауссовским, ОС будет линейной (или приводимой к линейной [6]).

б) Системы для наилучшего упреждения (экстраполяции) и интерполяции полезного сигнала. Возможно нек-рое обобщение предыдущей задачи: из смеси сигнала и шума можно выделять не сигнал S_t, а нек-рый оператор $R^t_\tau S_\tau$ от полезного сигнала, напр. производную от полезного сигнала или сигналы вида $S(t-\alpha)$, $S(t+\alpha)$, где α — нек-рое положит. число.

Ошибка E_t в таком случае

$$E_t = R^t_\tau S_\tau - Y_t.$$

В качестве критерия качества системы по-прежнему можно использовать ср. квадрат ошибки. Задача расчета ОС в этом случае незначительно отличается от задачи оптим. фильтрации.

В случае выделения сигналов вида $S(t+\alpha)$ и $S(t-\alpha)$ системы наз. соответственно системами наилучшей экстраполяции и интерполяции полезного сигнала.

Пользуясь критерием ср. квадрата ошибки, можно решать более общие задачи. Напр., можно выделять оператор $R^t_\tau S_\tau$ из неаддитивной смеси сигнала с шумом или предположить, что полезный сигнал зависит от случайных параметров (линейно или нелинейно). Тогда задачей ОС будет оценка этих параметров [6].

II. Критерий максимума правдоподобия [8]. Пусть X по-прежнему является случайным сигналом, зависящим от нек-рого неизвестного для нас параметра W (для простоты предполагается, что X — случайная величина, однако все сказанное справедливо для случая, когда X — вектор). W может быть неслучайной (неизвестной для нас) величиной или случайной величиной с априорной плотностью вероятности $h(W)$.

Т. о., сигнал X является смесью нек-рого шума и полезного сигнала W. Ранее мы рассматривали аддитивную смесь. Однако здесь можно считать ее неаддитивной.

Задача ОС состоит в том, чтобы на основании наблюдений $x_1, \ldots, x_n$ сигнала X в серии из n опытов дать наилучшую оценку параметра W.

Определим функцию правдоподобия L для выборки из n значений как совместную плотность вероятности

$$L(x_1, \ldots, x_n; W) = f(x_1, \ldots, x_n; W).$$

Если выборочные значения $x_1, \ldots, x_n$ фиксированы, то L является ф-цией параметра W. Тогда система оптимальна в смысле максимума правдоподобия, если в качестве оценки неизвестного параметра W принимается такое значение W, при к-ром L достигает максимума. Т. к. $\log L$ достигает максимума при той же значении W, что и L, то ур-ние правдоподобия принято решать относительно W

$$\frac{\partial f(x_1, \ldots, x_n; W)}{\partial W} = 0.$$

При решении этого ур-ния следует оставить лишь те корни W, к-рые зависят от выборочных значений $x_1, \ldots, x_n$, а корни вида $W = \mathrm{const}$ отбросить. Решение ур-ния правдоподобия по терминологии теории оценок наз. оценкой макс. правдоподобия.

В теории оценок доказываются следующие два предложения: а) если для параметра W существует эффективная оценка W^*, то ур-ние правдоподобия имеет единств. решение W^*; б) если для параметра W существует достаточная оценка W^*, то каждое решение ур-ния правдоподобия является функцией от W^*. Оценка W^* наз. эффективной, если величина

$$\mathrm{M}\,(W - W^*)^2$$

достигает своего наименьшего возможного значения. Отсюда следует, что критерий максимума правдоподобия в случае эффективных оценок совпадает с методом минимума ср. квадрата ошибки.

Оценка W^* наз. достаточной, если она использует все существенные сведения о параметре W, содержащиеся в выборке $x_1, \ldots, x_n$, а следовательно, ур-ние правдоподобия заведомо имеет решение, если доказано существование эффективных или достаточных

оценок. Подобное доказательство можно найти в теории оценок [8].

В связи с наличием предложений а) и б) метод максимума правдоподобия является наиболее важным общим методом нахождения оценок. Впервые этот метод был предложен англ. ученым Р. Фишером и затем развит в ряде работ. Однако в частных случаях метод применялся значительно раньше и, в частности, еще Гауссом.

Ур-ние правдоподобия определяет нек-рое соотношение между W^* и выборочными значениями $x_1, \ldots, x_n$, а следовательно, определяет алгоритм системы, оптимальной в смысле максимума правдоподобия. Тем не менее нельзя считать задачу определения алгоритма ОС (в смысле максимума правдоподобия) тождественной задаче нахождения оценки.

Алгоритм ОС должен удовлетворять условию физич. осуществимости [6] в то время, как алгоритм нахождения оценки может ему не удовлетворять.

III. Бейесовы критерии [6] формально объединяют достаточно большое число критериев и, в частности, критерии I и II. Однако критерии минимума ср. квадрата ошибки и максимума правдоподобия появились значит. раньше, и в силу этого их теория хорошо разработана. Поэтому объединение их в группу бейесовых критериев носит формальный методич. характер.

Пусть S_t — случайный полезный сигнал, а X_t — смесь сигнала S_t с шумом Z_t, причем эта смесь может быть неаддитивной.

Можно ввести следующий общий принцип оценки качества системы. Качество системы в каждом случае оценивается нек-рой неотрицат. ф-цией (функционалом) $l(S_t, Y_t)$. Т. к. S_t и Y_t — случайные ф-ции, то l — также случайная ф-ция. Ее выборочные значения определяются выборочными значениями ф-ций S_t и Y_t. Ф-ция l наз. ф-цией потерь или ф-цией цены ошибки.

Качество системы в среднем при всевозможных реализациях сигнала Y_t на выходе системы для заданной реализации полезного сигнала S_t оценивается условным математич. ожиданием ф-ции потерь при заданной реализации сигнала $S_\tau = S(\tau)$ $(0 \leqslant \tau \leqslant t)$

$$\varrho(\tilde{A}/S_t) = \mathrm{M}\,[l(S_t, Y_t)/S_\tau = S(\tau)\,(0 \leqslant \tau \leqslant t)].$$

Это выражение определяет в общем случае нек-рый оператор над выборочной ф-цией $S(\tau)$, т. н. условный риск. Он зависит от оператора $\tilde{A}$ системы.

Качество системы в среднем при всех возможных реализациях полезного сигнала S_t и сигнала Y_t характеризуется математич. ожиданием условного риска, которое можно записать в виде

$$\varrho(\tilde{A}) = \mathrm{M}\,[(\tilde{A}/S_t)] = \mathrm{M}\,[l(S_t, Y_t)].$$

Эта величина наз. ср. риском.

После того как установлен критерий качества системы, можно определить ОС: система оптимальна, если ср. риск $\varrho(\tilde{A})$ имеет минимум. значение.

Иногда требуется определить ОС при нек-рых дополнит. условиях. Эти условия можно представить в виде

$$\sigma_k(\tilde{A}) = \mathrm{M}\,[\varphi_k(S_t, Y_t)] = \alpha_k,$$

где φ_k — нек-рые заданные ф-ции $(k = 1, \ldots, N)$, и α_k — заданные числа.

Применяя метод неопредел. множителей Лагранжа, задачу об условном минимуме $\varrho(\tilde{A})$ при дополнит. условиях можно свести к задаче о безусловном минимуме функционала

$$\varrho_1(\tilde{A}) = \varrho(\tilde{A}) + \sum_{k=1}^{N} \lambda_k \sigma_k(\tilde{A}) = \mathrm{M}\,[l(S_t, Y_t) + \sum_{k=1}^{N} \lambda_k \varphi_k(S_t, Y_t)].$$

Эту величину можно рассматривать как ср. риск, соответствующий новой ф-ции потерь

$$l_1(S_t, Y_t) = l(S_t, Y_t) + \sum_{k=1}^{N} \lambda_k \varphi_k(S_t, Y_t),$$

содержащей неопредел. параметры $\lambda_1, \ldots, \lambda_N$, к-рые определяются из дополнит. условий.

Критерии минимума ср. риска для различных ф-ций (функционалов) потерь, к-рые могут содержать неопредел. параметры, наз. бейесовыми критериями.

Различные частные критерии оптимума получаются из бейесовых при разных ф-циях (функционалах) потерь:

1) Критерий минимума среднего квадрата ошибки получается, если за ф-цию потерь выбрать

$$l(S_t, Y_t) = (S_t - Y_t)^2.$$

2) Критерий максимума правдоподобия получается, если за ф-цию потерь выбрать

$$l(S, Y) = c - \delta(s - y(s)),$$

где $\delta(\ )$ — дельта-ф-ция Дирака.

В этом случае функционал $\tilde{A}X$ можно определить как нек-рую ф-цию $y(x, \ldots, x_n) = y(x)$ выборочных значений $x_1, \ldots, x_n$ (вектора x). Математич. ожидание ф-ции l запишется в виде

$$\mathrm{M}\,[l(s, y(x))] = c - \int\int \delta(s - y(x)) f(x, s)\, ds\, dx = c - \int f(x, y)\, dx.$$

Т. к. x есть n-мерный вектор, то интеграл в последнем выражении является n-кратным.

Критерий максимума правдоподобия определяет такую ф-цию $y(x_1, \ldots, x_n)$, к-рая обеспечивает максимум подинтегр. ф-ции при любых значениях $x_1, \ldots, x_n$. Т. о., максимум правдоподобия обеспечивает минимум ср. риска при выбранной ф-ции потерь.

3) Критерий Неймана — Пирсона отличается от ранее рассмотренных тем, что позволяет обнаружить, имеется ли полезный сигнал в смеси или его нет. Следовательно, ОС является системой обнаружения. В таких системах имеет значение не величина ошибки между желаемым и выходным сигналами, а лишь факт ее наличия или отсутствия. Ранее рассмотр. системы предназначались для воспроизведения сигнала Y_t, близкого к заданному (желаемому) сигналу S_t.

Для обнаружения сигнала обычно пользуются критерием минимума вероятности ошибочного решения. Система решает, что сигнал есть,

если сигнал на ее выходе Y_t (оценка полезного сигнала) превышает нек-рый уровень c.

Вероятность ошибочного решения P имеет вид

$$P=P(Y_t\leqslant c/S_t\neq 0)+P(Y_t>c/S_t=0),$$

где $P(Y_t\leqslant c/S_t\neq 0)$ — условная вероятность отсутствия сигнала при условии, что он в действительности имеется и $P(Y_t>c/S_t=0)$ — условная вероятность наличия сигнала при условии, что он в действительности отсутствует. ОС работает так, чтобы обеспечить минимум P. Однако можно потребовать, чтобы она обеспечивала минимум вероятности ошибочного решения при заданной вероятности ложного обнаружения сигнала, когда он отсутствует в смеси сигнала с шумом X_t, т. е. при дополнит. условии

$$P(Y_t>c/S_t=0)=\alpha,$$

где $\alpha>0$ — заданное число. Этот критерий наз. критерием Неймана—Пирсона. Он принадлежит к группе бейесовых критериев. Действительно, критерий минимума вероятности P ошибочного решения является бейесовым. Для него ф-ция потерь, как легко видеть, определяется равенствами:

$$l(Y_t,\ S_t)=\begin{cases}1\ (S_t=0,\ Y_t\leqslant c \text{ или } S_t=0,\ Y_t>c)\\ 0\ (S_t\neq 0,\ Y_t>c \text{ или } S_t=0,\ Y_t\leqslant c).\end{cases}$$

Для отыскания минимума величины P при заданной вероятности ложного обнаружения сигнала, согласно методу неопредел. множителей Лагранжа, необходимо найти безусловный минимум величины

$$P_1=P+\lambda P(Y_t>c/S_t=0),$$

где λ_1 — неопредел. множитель, к-рый следует определить из дополнит. условия. Если обозначить через p и q соответственно вероятность наличия и вероятность отсутствия сигнала S_t в X_t ($q=1-p$), то P_1 можно записать более подробно:

$$P_1=pP(Y_t\leqslant c/S_t\neq 0)+$$
$$+q\left(1+\frac{\lambda_1}{q}\right)P(Y_t>c/S_t=0).$$

Из этой ф-лы видно, что критерий Неймана — Пирсона является бейесовым. Ф-ция потерь для него имеет вид $l_1=l+\lambda\varphi$, где l — ф-ция потерь, соответствующая критерию минимума вероятности ошибочного решения, а ф-ция φ определяется равенствами

$$\varphi(S_t,\ Y_t)=\begin{cases}0 & (S_t\neq 0 \text{ или } S_t\neq 0,\ Y_t\leqslant c)\\ 1/q & (S_t=0,\ Y_t>c).\end{cases}$$

λ определяется из дополнит. условия (заданной величины условной вероятности ложного обнаружения).

4) Критерий минимума математического ожидания числа выходов ошибки из заданных пределов в течение заданного интервала времени иногда используется для расчета следящих систем.

Если $a(t)$ и $b(t)$ — две ф-ции, удовлетворяющие в интервале $(t_0<t<S)$ условию $a(t)<b(t)$, то число выходов случайной ошибки E_t из пределов $a(t)<E<b(t)$ в интервале $t_0<t<S$ дается ф-лой [6]:

$$R(s)=\int_{t_0}^{s}\{[a'(t)-E'(t)]\,1\,(a'(t)-E'(t)\times$$
$$\times\delta(E(t)-a(t))+[E'(t)-b'(t)]\,1\,(E'(t)-b'(t))\times$$
$$\times\delta(E(t)-b(t))\}\,dt.$$

Интеграл $R(s)$ — случайная величина [т. к. $E(t)$ — случайная ф-ция] и, следовательно, существует в ср. квадратичном. ОС должна обеспечить минимум математич. ожидания ф-ции $R(s)$. Отсюда ясно, что этот критерий также является бейесовым, при этом ф-ция потерь равна $l=R(s)$. Однако следует заметить, что в данном случае l является уже не ф-цией, а функционалом от S_t и Y_t.

5) Другие критерии. Др. бейесовым критерием, когда l равен функционалу, является критерий вида

$$l(S_t,\ Y_t)=\int\sum_{k=0}^{N}\varrho_k(t)\,[E_t^{(k)}(t)]^2\,dt,$$

где $\varrho_k(t)$ — неотрицат. ф-ции, характеризующие относит. важность значений ошибки и ее производных при разных значениях t, $E^{(k)}(t)$ — k-тая статистич. производная ошибка системы. Подобные критерии удобны, т. к. приводят к ОС с пост. параметрами.

Все рассмотр. критерии являются частными случаями критерия минимума ср. риска. Они получаются при выборе различных ф-ций или функционалов потерь. Если ф-ция (функционал) потерь полностью определена, то речь идет о безусловном минимуме ср. риска. Если имеются дополнит. ограничения, то речь идет об условном минимуме ср. риска.

Т. о., вопрос о выборе критерия оптимума сводится к выбору ф-ции (функционала) потерь l. Практически выбор l зависит не только от назначения и условий работы ОС, а в значит. степени определяется имеющимися данными о вероятностных хар-ках сигнала X_t и желаемого сигнала S_t.

Для использования бейесовых критериев необходимо знать совместное распределение сигнала X_t и полезного сигнала S_t. Практически столь полных данных никогда не имеется и решение задачи определения ОС по общему критерию встречает большие трудности.

Для нек-рых частных видов ф-ции потерь задача может быть решена при неполном знании статистич. хар-к сигналов S_t и Y_t. Так, при использовании критерия минимума ср. квадрата ошибки для определения ОС в классе линейных требуется лишь знание корреляц. и взаимных корреляц. ф-ций. Однако при неполных статистич. данных относительно S_t и Y_t использование общих бейесовых критериев теряет смысл.

IV. Критерий минимума потери информации [6] не входит в класс бейесовых критериев. Информация о S_t, содержащаяся в X_t, равна

$$Y_{xt}(S_t)=\log\frac{f(S_t)}{f_1(S_t/X_t)}.$$

Здесь $f(S_t)$ — плотность вероятности значения желаемого сигнала в момент времени t, $f_1(S_t/Y_t)$ — условная плотность вероятности случайной величины S_t при условии, что $Y_t=y(t)$, где $y(t)$—выборочное значение случайной функции Y_t. Можно вместо непрерывной функции $y(t)$ рассматривать вектор $y_1, \ldots, y_n$, где $y_1=y(t_1), \ldots, y_n=y(t_n)$ и $t_1<t_2<\ldots t_n$. В этом случае $f_1/(S_t/Y_t)$—ф-ция $n+1$ переменной.

Система считается оптимальной, если количество информации, содержащееся в X_t о S_t, минимально, или при переходе от X_t к S_t происходит миним. потеря информации.

В случае этого критерия следует положить

$$l(S_t,\ Y_t)=Y_{Y_t}(S_t).$$

Из последней ф-лы видно, что критерий минимума потери информации в общем случае не является бейесовым. Ф-ция потерь l в этом случае зависит от оператора $\tilde{A}$ ОС (т. к. $Y_t=\tilde{A}X$ и вместе с изменением $\tilde{A}$ меняется ф-ция плотности вероятности f_1).

С др. стороны, в бейесовых критериях ф-ция l потерь не зависит от оператора $\tilde{A}$. Это усложняет задачу, т. к. становится невозможным непосредственно определить оператор ОС $\tilde{A}$ из условия минимума величины l, к-рая сама зависит от $\tilde{A}$. В этом случае задачу следует решать методом последоват. приближений.

V. Минимаксный критерий [6]. Для случайных ф-ций S_t и Y_t, как указывалось, редко имеется такая исчерпывающая статистич. хар-ка, как их совместное распределение. Если же оно неизвестно, то использовать бейесовы критерии невозможно.

Поэтому естественно определить такие критерии, с к-рыми можно оперировать также при огранич. априорных данных относительно ф-ций S_t и Y_t. Эти критерии, однако, должны быть таковы, чтобы использовать все имеющиеся данные. К таким критериям и принадлежит минимаксный критерий.

Пусть нам известен только условный закон распределения ф-ции X_t относительно значения S_t желаемого сигнала. При этом распределение S_t остается неизвестным. Тогда ОС можно искать из условия минимума максимально возможного значения условного риска:

$$\max_{S_t}\varrho(\tilde{A}/S_t)=\min.$$

При этом макс. значение условного риска вычисляется по всем возможным реализациям желаемого сигнала S_t. Этот критерий наз. минимаксным. Он обеспечивает наилучшую работу системы в наихудших возможных условиях. Когда распределение желаемого сигнала неизвестно, минимаксный критерий может оказаться целесообразным, т. к. в этом случае неизвестно, как часто могут встречаться сигналы, при к-рых система находится в наихудших условиях. Минимаксный критерий обеспечивает наилучшую работу системы именно в таких условиях.

Лит.: 1) Gauss G. F., Teória motus corporum coelestium in sectionibus conicis solem ambientium, P., 1809 (рус. пер., 1861); 2) Legendre A.-M., Nouvelles méthodes pour la détermination des orbites des comètes, P., 1805; 3) Колмогоров А. Н., К обоснованию метода наименьших квадратов, «УМН», 1946, т. 1, вып. 1; 4) Линник Ю. В., Метод наименьших квадратов и основы математико-статистической теории обработки наблюдений, 2 изд., М., 1962; 5) Wiener N., Extrapolation, interpolation and smoothing of stationary time series, [2 ed.], N. Y.—L., 1950; 6) Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 2 изд., М., 1960; 7) Лэнинг Дж. Х., Баттин Р. Х., Случайные процессы в задачах автоматического управления, пер. с англ., М., 1958; 8) Крамер Г., Математические методы статистики, пер. с англ., М., 1948.

Ю. П. Лесонов.

ОПТИМАЛЬНОЕ ЗНАЧЕНИЕ (optimal value; valeur optimale; Optimalwert) в системах автоматического регулирования — значение (числового или векторного) параметра, обеспечивающего наилучшие, возможные при принятых ограничениях показатели качества системы. В общем случае критерий оценки качества системы задается функционалом $\Phi[x(a,t),\ \dot{x}(a,t),\ldots,\ x^{(k)}(a,t)]$, где x — обобщенная векторная координата системы, a — векторный параметр системы. Ограничения на координаты, их производные и параметры задаются системой неравенств: $F_i(x,\dot{x},\ \ldots,\ x^{(k)},a)>0$ ($i=1,\ 2,\ldots,\ n$). При этих ограничениях ищется минимум функционала Φ; значение a, при к-ром достигается этот минимум, наз. О. з. *Б. А. Власюк*

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ (optimal control; commande optimale; optimale Steuerung) — управление, обеспечивающее наивыгоднейшее значение определ. критерия, характеризующего эффективность управления при заданных ограничениях.

1) В качестве критерия оптимальности могут рассматриваться время перехода системы из нач. состояния в заданное, среднеквадратичное отклонение управляемой величины от заданного значения, производительность, качество продукции, затрата энергии или ценного сырья и т. д. Системы, в к-рых автоматически обеспечивается минимальная (при определ. условиях) длительность процесса перехода, являются оптимальными по быстродействию. Системы, в к-рых обеспечивается минимум погрешности в установившемся процессе, наз. оптимальными по установившейся погрешности и т. д.

О. у. появились в связи со стремлением повышать до возможных пределов быстродействие и точность САР и следящих систем. Они позволяют довести быстродействие и точность следящих систем до значений, близких к предельным, совместимым с ограничениями по скорости и вращающему моменту исполнит. двигателя, напряжению источников питания, нагреву двигателя и т. п.

Пром. автоматич. регуляторы темп-ры, расхода жидкостей и газов, давления и т. п., построенные в соответствии с законами оптим. управления, существенно улучшают динамич. свойства САР режима работы печей, котельных установок, сушильных камер, химич. реакторов и др. С помощью систем О. у. повышают маневренность движущихся объектов (кораблей, самолетов), доводя ее до предельных значений, определяемых макс. эффективностью рулей и макс. скоростью их перекладки и другими ограничениями.

С помощью О. у. можно реализовать такое управление поточным произ-вом, при к-ром изменение скорости продвижения обрабатываемых материалов или изменение их параметров будут в миним. мере сказываться на отклонениях регулируемых величин от заданного значения. Напр., в печах для нагрева заготовок под прокатку путем оптим. изменения темп-р в зонах нагрева можно обеспечить миним. значение среднеквадратичного отклонения темп-ры нагрева обрабатываемых заготовок при изменении темпа их выдачи из печи или при изменении их размеров и теплопроводности.

В любой оптим. системе (ОС) требование достижения экстрем. значения критерия оптимальности сопровождается дополнит. условиями (ограничениями). Так, в оптимальном по быстродействию следящем приводе ток якоря, скорость вращения вала двигателя и нек-рые др. величины не должны выходить из допустимого диапазона. Эти дополнит. условия ограничивают возможности выбора законов оптим. управления, а также и достижимое значение критерия оптимальности.

Теория О. у. решает задачи: выявления и оценки критериев оптимальности и ограничений, существенно влияющих на достижимые значения критерия оптимальности; определения экстрем. значений этих критериев; определения формы оптим. процессов; синтеза систем оптим. управления или близких к ним систем, а также оценки влияния различных факторов, вызывающих отклонение процессов от оптим. формы.

Движение системы с сосредоточ. параметрами удобно изображать движением точки в фазовом пространстве (ФП). Состояние системы изображается точкой в n-мерном ФП. При движении системы происходит изменение ее состояния, причем изображающая точка системы в ФП движется по нек-рой траектории. Задачи нахождения траекторий оптим. движения изображающей точки в ФП являются, по существу, вариац. задачами, к-рые не всегда могут быть решены классич. методами вариац. исчисления. Для их решения в последние годы привлечен ряд методов, из к-рых наиболее общими являются *максимума принцип* и метод *динамического программирования*.

Во многих технич. установках встречаются объекты, имеющие распредел. в пространстве параметры, задачи управления к-рыми состоят в достижении заданного распределения состояний объекта (напр., заданного распределения темп-ры по сечению металлич. слитка при его нагреве). Для этого класса объектов задачи О. у. могут рассматриваться как задачи оптим. движения изображающей точки уже не в фазовом, а в функцион. пространстве, характеризующемся бесконечным числом измерений. Законы оптим. управления такими объектами содержат зависимости управляющих воздействий от распределения состояний объекта в пространстве и во времени.

Часто критерий оптимальности носит статистич. характер. В этом случае теория оптим. управления связана с определением О. у. на базе статистич. методов — методов теории линейных систем, оптимальных в статистич. смысле, теории статистич. решений и т. п. В сложных системах говорят об оптим. стратегии УУ, понимая под этим алгоритм управления, обеспечивающий наилучшее достижение конечных целей управления. Это требует от УУ большей «дальновидности», чем достижение непосредств. цели. В этом случае часто необходимо осуществлять в определ. смысле наилучшие прогнозы будущего поведения объектов и воздействий.

А. Я. Первер.

2) Синтез О. у. сводится к разработке УУ A (рис. 1), к-рое наилучшим образом управляет объектом B. Выходная величина $\bar{x}$ объекта B передается по линии обратной связи на вход A. На др. вход A поступает $\bar{x}^*$ — инструкция о том, какова должна быть управляемая величина $\bar{x}$. Информация, полученная A, включает иногда и данные измерения помехи $\bar{z}$, действующей на объект (пунктирная линия). A, перерабатывая приходящую к нему информацию, подает на объект управляющие воздействия $\bar{u}$. Величины $\bar{x}$, $\bar{x}^*$, $\bar{u}$, $\bar{z}$ могут, в общем случае, быть векторами. Так, несколько величин $x_1, x_2, \ldots, x_n$ могут быть сокращенно обозначены в виде вектора $\bar{x}$.

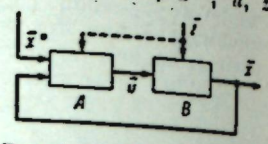


Рис. 1. Система оптимального управления.

Если не накладывать заранее никаких ограничений на закон действия (алгоритм) УУ A, то оптим. алгоритм определится лишь следующими факторами, относящимися к объекту B и способу его соединения с A: а) хар-ка объекта B; б) требования, предъявляемые к объекту B и в) характер информации об объекте B, поступающей в УУ A.

Объект характеризуется зависимостью его выходной величины $\bar{x}$ от входных величин $\bar{u}$ и $\bar{z}$:

$$\bar{x}=\bar{F}(\bar{u},\ \bar{z}). \qquad (1)$$

Зависимость $\bar{F}$ в общем случае представляет собой оператор, т. е. закон соответствия между двумя множествами ф-ций. Он может быть задан различными способами — ф-лами, графиками или таблицами. Частные случаи — задание $\bar{F}$ в виде дифференц., либо интегр., либо разностных ур-ний.

Объект B может быть непрерывной системой, дискретно-непрерывной или чисто-дискретной. Объекты могут иметь либо сосредоточ. параметры (напр., оператор $\bar{F}$ объекта имеет вид обыкнов. дифференц. ур-ния), либо распредел. параметры (объект, движение к-рого характеризуется дифференц. ур-нием в частных производных).

В число хар-к объекта B входят также ограничения различного вида. Обычно управляющие воздействия $u_1, u_2, \ldots, u_r$, входящие в состав вектора $\bar{u}$, не могут или не должны выходить за нек-рые допустимые пределы. Часто ограничения имеют вид:

$$|u_1|\leqslant v_1;\ |u_2|\leqslant v_2;\ \ldots;\ |u_r|\leqslant v_r, \qquad (2)$$

где $v_i>0$ — постоянные ($i=1,\ldots,r$). В общем случае векторы $\bar{u}$ и $\bar{x}$ не должны выходить за пределы нек-рой допустимой области Ω, вид к-рой может изменяться со временем:

$$(\bar{u},\ \bar{x})\in\Omega\ (\bar{u},\ \bar{x},\ t). \qquad (3)$$

Ограничения играют важнейшую роль при разработке ОС. Пусть, напр., требуется построить следящую систему пост. тока с миним. временем переходного процесса. В принципе, подавая сколь угодно большие напряжения на вход цепи якоря двигателя, можно получить сколь угодно большие токи в этой цепи и, следовательно, сколь угодно большие моменты и ускорения вала двигателя, что обеспечит сколь угодно малое время переходного процесса. Однако допустимы лишь такие процессы, в к-рых ток якоря, а также скорость вала двигателя не выходят за определ. пределы. Именно эти ограничения не позволяют бесконечно уменьшить время переходного

процесса. Наличие ограничений придает во многих случаях смысл задаче об О. у. Решение этой задачи должно ответить на вопрос — как добиться наилучших результатов при огранич. ресурсах управления.

К хар-кам объекта можно отнести также хар-ки возмущающего воздействия $\bar{z}$, действующего на объект B. Если $\bar{z}$ — известная ф-ция времени, то ее выражение можно подставить в ф-лу (1) оператора объекта. Удобно выделять в качестве внешних воздействий, прилагаемых к объекту, лишь непредвиденные заранее, т. е. случайные возмущения $\bar{z}$. Т. о., к помехе или возмущению $\bar{z}$ относится все непредвиденное, заранее неизвестное в операторе объекта — напр., случайные изменения нагрузки, изменения параметров и хар-к объекта, изменение внешних условий, влияющее на объект, и т. д.

Случайное возмущение $\bar{z}$ может быть случайной величиной или случайным процессом. В первом случае величина $\bar{z}$ постоянна в течение одного отдельного процесса в системе, но может изменяться от одного процесса к др. Во втором случае $\bar{z}$ представляет собой случайную ф-цию времени, изменением к-рой за время одного процесса в системе нельзя пренебречь.

Иногда случайное возмущение $\bar{z}$ не фигурирует явно в условиях задачи. Но, если $\bar{z}$ случайно, то, при заданном $\bar{u}$, выход $\bar{x}$ объекта B будет случайным процессом. Можно задать вместо хар-к $\bar{z}$ непосредственно условные вероятностные хар-ки процесса $\bar{x}$, зависящие от $\bar{u}$ и нач. условий $\bar{x}^{(0)}$, что заменяет задание оператора $\bar{F}$ и хар-к случайного возмущения $\bar{z}$.

Второе направление в классификации ОС связано с требованиями, предъявляемыми к объекту B. Это — задание определ. цели управления, к-рую в любом случае можно рассматривать как достижение экстремума нек-рой величины Q — критерия оптимальности (для определенности ниже рассматривается минимум Q). В общем случае критерий Q зависит от величин $\bar{x}^*$, $\bar{x}$, $\bar{u}$, $\bar{z}$, а также от времени t. Требование, предъявляемое к оптим. процессу в объекте, формулируется в виде условия:

$$Q(\bar{x}^*,\ \bar{x},\ \bar{u},\ \bar{z},\ t)=\min. \qquad (4)$$

Q является в общем случае функционалом, т. е. числом, зависящим от вида функций $\bar{x}$, $\bar{x}^*$, $\bar{u}$, $\bar{z}$. Пусть, напр., в частном случае $Q=Q(x^*,\ x)$ и дается выражением

$$Q=\int_0^T [x(t)-x^*(t)]^2\,dt, \qquad (5)$$

где T — фиксиров. величина. Из ф-лы (5) видно, что Q зависит от вида кривых $x(t)$ и $x^*(t)$ на интервале $0<t<T$. Обоснование выбора критерия оптимальности Q, определяемого конкретными технико-экономич. условиями, находится вне рамок теории оптим. систем.

Критерий оптимальности может служить оценкой переходного либо установившегося процесса.

В зависимости от характера Q можно различить следующие типы ОС: равномерно-оптим. системы, статистически-оптим. системы и минимаксно-оптим. системы.

В первом типе систем каждый отдельный процесс является оптимальным. Напр., каковы бы ни были нач. условия или допустимые задающие воздействия $\bar{x}^*$, в системах, оптим. по быстродействию, состояние объекта в течение миним. времени приходит к требуемому (см. *Оптимального управления критерий*, регулярный). Во 2-м типе не требуется или невозможно обеспечить наилучшее поведение системы в каждом отдельном процессе. В этом случае Q имеет статистич. характер (см. *Оптимального управления критерий*, статистический). В системе 3-го типа наихудший результат, получ. в наиболее тяжелых условиях, лучше, чем наихудший результат в любой др. системе.

Важно подчеркнуть, что нельзя ставить задачу одноврем. достижения экстремума для двух или более ф-ций или функционалов Q. Действительно, вообще говоря, невозможно подобрать такие значения аргументов, к-рые обеспечивали бы одновременно экстремумы неск. ф-ций. Можно ставить лишь задачу достижения экстремума одной к.-л. ф-ции или функционала. Но при этом в общем случае можно потребовать, чтобы $\bar{x}$, $\bar{u}$ или к.-л. их ф-ции H_j не выходили из допустимых областей. Это условие иногда формулируют в следующем виде: ф-ции H_j переменных $\bar{x}^*$, $\bar{x}$, $\bar{u}$, $\bar{z}$, t не должны выходить из допустимых областей, напр. должны быть неположительными:

$$H_j(\bar{x}^*,\ \bar{x},\ \bar{u},\ \bar{z},\ t)\leqslant 0\quad (j=1,\ \ldots,\ m). \qquad (6)$$

Ограничивающих условий типа (6) может быть несколько ($m\geqslant 1$). Но Q, к-рую требуется сделать экстремальной, должна быть единственной. Напр., продукция агрегата должна иметь миним. себестоимость, но при этом производительность должна быть не ниже заданной, качество продукции — не ниже заданного и т. д.

Важным направлением классификации ОС является их разделение по характеру и объему информации об управляемом объекте, поступающей в управляющее устройство A или запасенной в нем до начала процесса управления. Если полная информация об объекте запасена в A заранее, то в него можно заложить заранее и программу оптим. управления. Тогда ОС окажется разомкнутой. Если же априорная информация в A об объекте B — неполная, то необходимо получение дополнит. текущей информации (напр., информации о действит. состоянии x объекта B). Эта информация поступает по цепи обратной связи, и ОС оказывается в данном случае замкнутой. Более подробные сведения об этой линии классификации см. в ст. *Дуальное управление*.

В настоящее время становится возможным построение единой общей теории ОС, включающей как формулировку общих задач, так и методы их решения. Пусть передача информации (рис. 2) ведется через каналы H^*, G, H и E, в к-рых сигнал смешивается с случайными шумами $\bar{h}^*$, $\bar{g}$, $\bar{h}$ и $\bar{e}$, соответственно. Пусть также заданы оператор $\bar{F}$ объекта, цель Q

управления (4), а также ограничения (2), (3) или (6). Если в (4) $\bar{z}$ и $\bar{x}^*$— случайные процессы, то могут быть заданы их вероятностные хар-ки, а также вероятностные хар-ки шумов $\bar{h}^*$, $\bar{g}$, $\bar{h}$, $\bar{e}$. Задача синтеза оптим. УУ A состоит в нахождении его алгоритма или стратегии, при к-рой критерий Q достигает экстремума и, одновременно, выполняются условия ограничений. В общем случае оптим. стратегия

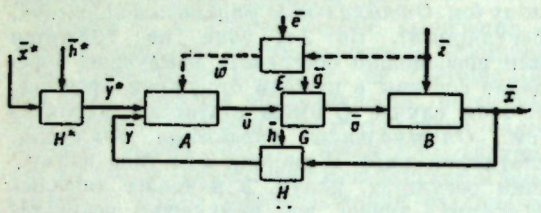


Рис. 2. Структура системы управления.

может оказаться случайной. Это означает, что оптим. устройство A должно принимать случайное решение и выдавать случайную величину $\bar{u}$ на своем выходе в момент t. Определение оптим. стратегии сводится в этом случае к нахождению условной плотности Γ вероятности величины $\bar{u}(t)$ при условии, что фиксированы наблюденные устройством A величины $\bar{y}^*$, $\bar{y}$, $\bar{w}$, а также его выходная величина $\bar{u}$ при $\tau<t$:

$$\Gamma\{\bar{u}(t)\}=\Gamma\{\bar{u}(t)\,|\,\bar{y}^*(\tau),\ \bar{y}(\tau),\ \bar{u}(\tau),\ \bar{w}(\tau),\ t\}\quad(\tau<t).\qquad(7)$$

В более частном классе случаев, весьма, однако, широком, оптим. стратегия оказывается регулярной. В этом случае синтез ОС сводится к определению текущего значения $\bar{u}(t)$ в виде ф-ции (или функционала)

$$\bar{u}(t)=K[\bar{y}^*(\tau),\ \bar{y}(\tau),\ \bar{w}(\tau),\ \bar{u}(\tau),\ t],\ (\tau<t),\qquad(8)$$

обеспечивающей экстремум критерия Q при условии удовлетворения ограничений. Наконец, в еще более частном классе случаев, что имеет место в системах с полной либо в системах с макс. информацией об объекте, текущее значение $\bar{u}(t)$ в ОС оказывается ф-цией текущих же значений $\bar{y}^*$, $\bar{y}$, т. е. значений в тот же момент времени t

$$\bar{u}(t)=K[\bar{y}^*(t),\ \bar{y}(t),\ \bar{w}(t),\ t].\qquad(9)$$

В этом классе ОС устройство управления A должно быть выполнено безынерционным, в форме статического и в общем случае нелинейного преобразователя. В более общем случае (7), (8) оптим. устройство A представляет собой динамич. систему, обладающую памятью. Действительно, в общем случае текущее значение $\bar{u}(t)$ должно вычисляться на основе как текущих значений величин в тот же момент времени t, так и их значений в прошлом.

А. А. Фельдбаум.

Лит.: Лернер А. Я., «АиТ», 1952, т. 13, № 2, 4; его же, там же, 1954, т. 15, № 6; Фельдбаум А. А., там же, 1953, т. 14, № 6; Болтянский В. Г., Гамкрелидзе Р. В., Понтрягин Л. С., «ДАН СССР», 1956, т. 110, № 1, с. 7; Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; Беллман Р., Динамическое программирование, пер. с англ., М., 1961; Понтрягин Л. С. [и др.], Математическая теория оптимальных процессов, М., 1961; Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 2 изд., М., 1960; Chang S. S. L., Synthesis of optimum control systems, N. Y., 1961.

ОПТИМАЛЬНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ (electric drive optimal control; commande optimale de moteur électrique; optimale Steuerung eines elektrischen Antriebs) — например, управление электроприводом, при котором за фиксированное время достигается наибольшее перемещение или наибольшее приращение скорости. Если важно свести к минимуму расход энергии или установленную мощность электродвигателя, то эти величины выбирают *оптимального управления критериями*, а закон управления определяют так, чтобы они достигали минимума. Особенно большое значение имеет О. у. э. по быстродействию, при к-ром переход из начального состояния в заданное происходит за наименьшее время. При оптимизации управления электроприводом выбирают такой закон изменения тока, питающего напряжения, напряжения возбуждения, частоты и др. в функции времени (или координат, изменяющихся и поддающихся измерению в процессе движения), при к-ром выбранный критерий оптимальности экстремален.

Расход энергии за время переходного процесса T_p равен

$$Q_0=\int_0^{T_p} u(t)\,i(t)\,dt,$$

где u и i — мгновенные значения напряжения и тока. Потери энергии в якоре двигателя пост. тока равны

$$q_0=r\int_0^{T_p} i^2(t)\,dt,$$

где r — сопротивление цепи якоря. Значения скорости и перемещения, достигаемые к концу процесса (при нулевых нач. условиях), соответственно равны

$$\omega_k=\frac{1}{J}\int_0^{T_p}[M_д(t)-M_н]dt,$$

$$\varphi_k=\frac{1}{J}\int_0^{T_p}(T_p-t)\,[M_д(t)-M_н]\,dt,$$

где φ — угловое перемещение (выходная координата), ω — угловая скорость, $M_д$ и $M_н$ — соответственно момент двигателя и нагрузки, J — момент инерции. Величины Q_0, q_0, ω_k, φ_k— функционалы, зависящие от выбора закона изменения питающего напряжения $u(t)$ тока $i(t)$ и момента двигателя $M_д(t)$. Время процесса $T_p=\int_0^{T_p}1\cdot dt$, если оно не фиксировано, также зависит (неявно) от выбора закона изменения тока $i(t)$ и является функционалом.

Выбор величины управляющего воздействия в реальных установках стеснен ограничениями: значения напряжения, тока, скорости, ускорения, потерь, температуры нагрева и др. величин не могут или не должны по технологич. условиям или условиям прочности превышать нек-рых макс. допустимых значений. Напр., ток якоря не должен превышать значения, допустимого по условиям коммутации. В асинхронных двигателях перемен. тока макс. допустимый момент определяется соотношением параметров цепи ротора. Если мощность источника питания велика по сравнению с мощностью двигателя, то оптимальный процесс определяется ограничениями, относящимися только к двигателю. В противном случае, при определении оптим. процесса, необходимо учитывать также и ограничения, относящиеся к источнику питания.

Если движение привода описывается системой двух дифференц. ур-ний

$$\frac{d\varphi}{dt}=\omega,\ \frac{d\omega}{dt}=\frac{1}{J}(M_д-M_н),\qquad(1)$$

то ограничения скорости $|\omega|\leqslant\omega_m$ и момента $|M_д|\leqslant M_m$ двигателя (где индексом m обозначены макс. значения) равносильны ограничению 1-й и 2-й производных выходной координаты

$$|\dot{\varphi}|\leqslant\omega_m,\ |\ddot{\varphi}|<\varphi_m=\frac{1}{J}(M_m-M_н).$$

Ограничение питающего напряжения $|u|\leqslant U_m$ в двигателе пост. тока (где момент пропорционален току) при $M_н=0$ эквивалентно ограничению линейной комбинации производных

$$|\,c_1\dot{\varphi}+c_2\ddot{\varphi}\,|\leqslant U_m$$
$$(\text{т. к. } u=e+ir_я=c_1\dot{\varphi}+c_2\ddot{\varphi}).$$

Весьма важно ограничение темп-ры перегрева двигателя или, приближенно, энергии, рассеиваемой в двигателе в виде потерь,

$$q=c\int_0^{T_p} i^2(t)\,dt.$$

Ограничение перегрева сводится к требованию соблюдения неравенства $q\leqslant q_m$. Проблема оптимизации управления в указанном выше смысле приводит к математич. задачам об экстремуме функционалов—критериев оптимальности управления. Этот класс задач составляет предмет вариационного исчисления. Ограничения координат и управляющих воздействий приводят к более сложным — неклассич. — вариационным задачам, для решения к-рых развит математич. аппарат, базирующийся на более общих предположениях [1].

Оптимальное управление электроприводом постоянного тока. Движение привода описывается системой (1), где положим $M_д=c_1 i$. Координаты φ, ω и управляющее воздействие — ток i — ограничены по модулю

$$|\varphi|\leqslant\varphi_m,\ |\omega|\leqslant\omega_m\qquad(2)$$
$$|i|\leqslant i_m.\qquad(2')$$

Учитывая ограничение номин. мощности или рассеиваемой энергии к системе (1), следует присоединить ур-ние

$$\frac{d\tau}{dt}=c_2 i^2\qquad(3)$$

и неравенство

$$\tau\leqslant\tau_m.\qquad(4)$$

Условия (2) и (4) в трехмерном пространстве (φ,ω,τ) выделяют область S допустимых состояний, в к-рых только и может находиться система. Условие (2′) в одномерном пространстве (i) выделяет область Ω (отрезок), за к-рую не должны выходить значения управляющего воздействия — тока якоря. Обе области являются замкнутыми. Если в области S заданы две точки $A(\varphi_0,\omega_0,\tau_0)$ и $B(\varphi_k,\omega_k,\tau_k)$, характеризующие нач. и требуемое состояния системы, то задачей О. у. э. является такой выбор $i(t)$, чтобы переход из A в B совершался за наименьшее время T. В общем случае траектории оптим. процессов могут располагаться как внутри областей S и Ω, так и на их границах. В частных случаях они могут проходить только по границам или только внутри этих областей. Характерны след. 3 случая.

1) При выборе максимально допустимого значения тока учитывается ограничение по нагреву. Ур-ние (3) и граничные условия по координате τ не учитываются. Переходный процесс описывается системой (1). В линейных системах при ограниченном по модулю управляющем воздействии оптим. процесс состоит

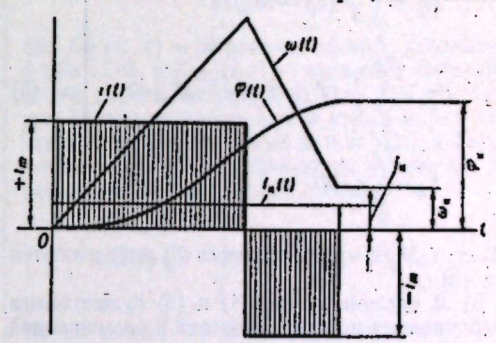


Рис. 1. Оптимальный переходный процесс при ограниченном токе.

не более чем из n интервалов (n — порядок системы), в течение каждого из к-рых управляющее воздействие равно одному из двух граничных значений. Для двигателя пост. тока с независимым возбуждением при отсутствии ограничения по скорости оптим. переходный процесс в общем случае состоит из 2 интервалов: на одном из них $i(t)=\pm i_m=\text{const}$, а на др. $i(t)=\mp i_m=\text{const}$ (рис. 1). Если, кроме тока якоря, ограничена еще скорость, то в оптим. процессе, при достаточном удалении заданного состояния от нач., появится интервал, где $i=\frac{M_н}{c_1}$ и $\omega=\omega_m$ (рис. 2). В этих

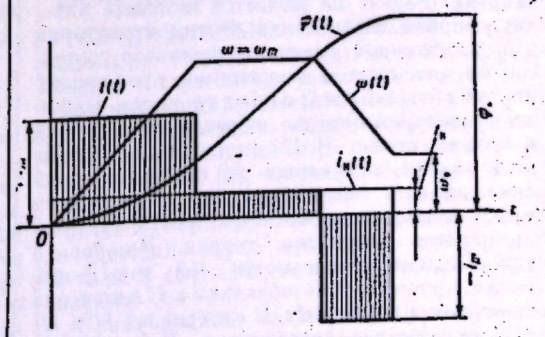


Рис. 2. Оптимальный переходный процесс при ограниченном токе и скорости.

примерах на каждом из интервалов управляющее воздействие или координата принимают значения, равные предельным. Задачи этого типа не решаются классич. методами вариационного исчисления.

2) В системе ур-ний (1) и (3) существенно только ограничение по рассеиваемой энергии. Задача сводится к классической вариационной задаче с фиксированными граничными условиями по координатам φ, ω и τ. Экстремаль $i(t)=i_0\left(1-\frac{t}{t_a}\right)$ находится в результате минимизации функционала

$$v=\int_0^{T_p}[1+\lambda_1(c_1 i-M_н)+\lambda_2(T_p-t)\times$$
$$\times(c_1 i-M_н)+\lambda_3 i^2]\,dt,$$

где λ_1, λ_2, λ_3 — неопределенные пост. множители Лагранжа, а выражения в скобках с точностью до пост. множителя равны правым частям выражений для граничных условий:

$$\left.\begin{aligned}\omega_k&=\int_0^{T_p}\frac{1}{J}(c_1 i-M_н)\,dt\\ \varphi_k&=\int_0^{T_p}\frac{1}{J}(T_p-t)(c_1 i-M_н)\,dt\\ \tau_k&=\int_0^{T_p}c_2 i^2 dt\end{aligned}\right\}\quad(5)$$

Пост. i_0, t_a и время процесса T_p определяются из (5).

3) В системе ур-ний (1) и (3) существенны ограничения по току, скорости и рассеиваемой энергии. Задача не решается методами классич. вариац. исчисления. Оптим. траектории при достаточном удалении заданного состояния от нач. состоят из участков, проходящих внутри областей S и Ω и по их границам. Отрезки траекторий определ. образом сопрягаются в точках стыка. В [3] приводится решение этой задачи, основанное на сочетании классич. вариац. исчисления и исследования нек-рого пространства параметров. В [1] дается строгая математич. теория. На рис. 3 представлены зависимости $i(t)$ и $\omega(t)$ при оптим. процессе. В интервалах *I* и *III* значения тока равны граничным. В интервалах *II* и *II'* ограничения не достигаются. В интервале *IV* скорость равна макс.

Оптимальное управление электроприводом с асинхронным двигателем изменением частоты питающего напряжения. В нек-рых установках с асинхронными двигателями, питаемых от источников перем. (управляемой) частоты, целесообразно так выбрать закон ее изменения, чтобы переходный процесс был оптимальным. Эта вариац. задача для пост. момента нагрузки и момента нагрузки, зависящего от скорости, рассмотрена в [4]. При определении вида оптим. процесса учтены ограничения магнитного потока, макс. скорости и ограничение по нагреву. Показано, что оптим. управление имеет место при пост. магнитном потоке. При пост. моменте нагрузки частота тока ротора должна изменяться по закону

$$\frac{2f}{1-f^2}=C-\lambda t,\qquad(6)$$

где f — относит. частота тока ротора, C и λ — константы. Условие постоянства магнитного потока и ур-ние (6) определяют оптим. закон изменения амплитуды и частоты питающего напряжения.

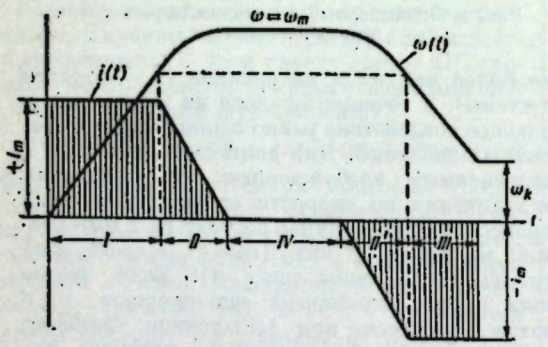


Рис. 3. Оптимальный переходный процесс при ограниченных токе, скорости и нагреве.

Лит.: 1) Понтрягин Л. С. [и др.], Математич. теория оптимальных процессов, М., 1961; 2) Лернер А. Я., О предельном быстродействии систем автоматического управления, «АиТ», 1954, т. 15, № 6; 3) Розенман Е. А., О предельном быстродействии следящих систем с ограниченным по мощности, моменту и скорости исполнительным элементом, там же, 1958, т. 19, № 7; 4) Петров Ю. П., Оптимальное управление электроприводом, М.—Л., 1961. *Е. А. Розенман.*

ОПТИМАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ (optimal systems; systèmes optimaux; Optimalsysteme) в статистическом смысле — динамич. системы, обеспечивающие наивысшую точность приближения их выходной величины к заданному преобразованию полезного сигнала, поступающего на вход системы в смеси с помехой. Теория О. с. тесно связана с теорией обнаружения и воспроизведения сигналов в присутствии помех. Задачи такого рода возникают очень часто в автоматике, радиотехнике и др. областях техники. Практически на любую систему автоматич. управления действуют случайные помехи. Поэтому при проектировании системы (напр., следящей системы, к-рая должна воспроизводить определ. перем. величину) возникает задача такого ее построения, к-рое обеспечивало бы наибольшее подавление помех, т. е. макс. точность. В радиотехнике такая задача встречается при проектировании радиолокац. приемника, получающего значение дальности самолета, или приемника, обнаруживающего с наименьшей вероятностью ошибочного решения сигнал, отраженный от самолета.

Т. к. всякая система предназначена для работы при различных законах изменения во времени воспроизводимого сигнала, закон изменения его в каждом конкретном случае неизвестен. Поэтому естественно считать входной сигнал и сигнал, подлежащий воспроизведению, случайными ф-циями времени. Тогда задача определения О. с. сведется к нахождению оператора системы, обеспечивающего наивысшую точность ее работы по заданным вероятностным хар-кам сигнала, подлежащего воспроизведению, и помех. С математич. точки зрения это — задача приближения одной случайной ф-ции преобразованием другой случайной ф-ции, наблюдаемой в нек-ром интервале времени T. Если обозначить входную случайную ф-цию через $Z(t)$, а ф-цию, подлежащую воспроизведению, через $W(s)$, то О. с. должна иметь такой оператор A, чтобы случайная ф-ция $W^*(s)=AZ(t)$ была максимально близка (в нек-ром смысле) к случайной ф-ции

$W(s)$. Случайная ф-ция $W^*(s)$ наз. оценкой сигнала $W(s)$. Случайная ф-ция $Z(t)$ обычно представляет собой результат наложения помех на нек-рый полезный сигнал, а $W(s)$ — результат преобразования (в частном случае тождественного) полезного сигнала. Переменная s обычно обозначает момент окончания наблюдения. Другими словами, оценка значения сигнала в момент времени s строится по результатам наблюдения входной ф-ции $Z(t)$ в интервале времени $[s-T,s]$. В этом случае, если сигнал, подлежащий воспроизведению, равен полезному сигналу, содержащемуся во входной ф-ции $Z(t)$, получается очень важная частная задача теории О. с. — задача *фильтрации*. Система должна наилучшим образом отфильтровывать помеху от входного полезного сигнала. Другой важной задачей является задача экстраполяции, или предсказания полезного сигнала. В этом случае система по результатам наблюдения ф-ции $Z(t)$ в некотором интервале времени должна предсказывать значение полезного сигнала в к.-л. будущий момент времени. Интервал наблюдения может быть как конечным (в этом случае система наз. системой с конечной памятью), так и полубесконечным $[-\infty, s]$, т. е. наблюдение продолжается неограниченно долго.

Сформулированная выше задача определения О. с. остается неопределенной, пока не указано, в каком смысле оценка сигнала $W^*(s)$ должна наилучшим образом воспроизводить сигнал $W(s)$. Требуется дать критерий оптимальности системы (см. *Оптимального управления критерий*). Наиболее часто применяется критерий минимума ср. квадратич. ошибки. Система, определяемая по этому критерию, характеризуется следующим условием:

$$\|W^*(s)-W(s)|^2]=$$
$$=M[|AZ(t)-W(s)|^2]=\min,$$

где M — символ математич. ожидания. Этот критерий принадлежит к классу т. н. бейесовых критериев. Система, оптимальная с точки зрения бейесова критерия, характеризуется условием:

$$M[l(W^*,W)]=\min,$$

где l — нек-рая известная ф-ция, не зависящая от оператора A и наз. ф-цией потерь.

Как известно, наилучшей в смысле ср. квадратич. ошибки оценкой случайной ф-ции $W(s)$ является ее условное математич. ожидание относительно входной ф-ции $Z(t)$:

$$W^*(s)=M[W(s)\,|\,Z(t)].\qquad(1)$$

Операция условного математич. ожидания определяет нек-рую ф-цию аргумента s, зависящую от реализации случайной ф-ции $Z(t)$, т. е. является оператором. Т. о., ф-ла (1) определяет оптим. оператор по критерию минимума ср. квадратич. ошибки в классе всех возможных операторов. Однако вычисление оптим. оператора по ф-ле (1) обычно бывает далеко не просто и не всегда возможно. Оно требует довольно полного знания вероятностных хар-к сигнала и помехи (в т. ч. их законов распределения). Поэтому оптим. оператор часто ищут в классе линейных операторов. В общем случае найденный оператор не является оптимальным в классе всех возможных операторов, но в частном случае гауссовых сигнала и помехи и при выборе критерия с ф-цией потерь, зависящей от разности текущих значений сигнала и его оценки, линейный оператор является оптимальным в классе всех возможных операторов.

Результат преобразования входной ф-ции нек-рой линейной системой можно представить в виде:

$$W^*(s)=\int_{s-T}^{s}w(s,t)\,Z(t)\,dt,$$

где $w(s,t)$ — весовая ф-ция. Если случайные ф-ции $Z(t)$ и $W(s)$ имеют нулевые математич. ожидания, то весовая ф-ция оптим. системы, обеспечивающей минимум ср. квадратич. ошибки, является решением следующего интегрального ур-ния:

$$K_{WZ}(s,\tau)=\int_{s-T}^{s}w(s,t)\,K_Z(t,\tau)\,dt,\qquad(2)$$

где $K_Z(t,\tau)$ — корреляц. ф-ция случайной ф-ции $Z(t)$, а $K_{WZ}(s,\tau)$ — взаимная корреляц. ф-ция случайных ф-ций $W(s)$ и $Z(t)$. В частном случае стационарных и стационарно связанных случайных ф-ций $Z(t)$ и $W(s)$ и бесконечного интервала наблюдения ур-ние (2) переходит в ур-ние Винера—Хопфа:

$$K_{WZ}(\tau)=\int_0^{\infty}w(t)\,K_Z(t-\tau)\,dt.\qquad(3)$$

Из (2) видно, что для определения линейной О. с. по критерию минимума ср. квадратич. ошибки достаточно знания корреляц. ф-ции входа и взаимной корреляц. ф-ции сигнала и входа. Если нет никаких данных о законах распределения случайных ф-ций и известны лишь их корреляц. ф-ции, то нет никакого смысла искать О. с. среди нелинейных систем. Как было сказано выше, при норм. распределении случайных ф-ций $Z(t)$ и $W(s)$ О. с. в классе всех возможных систем является линейная система. А т. к. норм. закон распределения является самым широко распространенным, то наиболее целесообразен выбор линейной системы в качестве оптимальной.

Лит.: Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 2 изд., М., 1960; Лэнинг Дж. Х., Беттин Р. Г., Случайные процессы в задачах автоматического управления, пер. с англ., М., 1958. *Л. П. Сысоев.*

ОПТИМАЛЬНЫЕ СТРАТЕГИИ (optimal strategies; stratégies optimales; optimale Strategien) — стратегии, к-рые оптимизируют (максимизируют или минимизируют) хар-ку, численно оценивающую эффект их применения в задачах *игр теории* [1], *статистических решений теории* [2], теории *оптимального управления* и т. д. При этом под стратегией обычно понимается совокупность всех выборов и действий, к-рые необходимо предпринять в каждой ситуации, возможной в данной конкретной задаче.

Принципиально важно, что все возможные стратегии в данной задаче можно количественно охарактеризовать и отличить друг от друга. Напр., если возможных стратегий конечное число, то их можно перенумеровать. В др. случаях выбор стратегии можно отождествить с выбором нек-рого числа на действит. оси или определ. ф-ции из класса допустимых в данной задаче. В последнем случае вид стратегии

зависит от параметра, чаще всего времени. Иногда из физич. смысла задачи ясно, что допустимые стратегии имеют вероятностный смысл, поэтому стратегии следует выбирать из множества, напр. всех возможных ф-ций распределения. Весь класс возможных в данной задаче стратегий образует пространство исходных стратегий. Пространств стратегий в игровой задаче столько, сколько действующих лиц принимает в ней участие, причем интересы их не должны всегда совпадать. Напр., в теории статистич. решений одним действующим лицом является нейтральная природа, другим — статистик. Пространством исходных стратегий для статистика будет пространство возможных решающих ф-ций, а нейтр. природа доставляет информацию в виде множества выборок с вероятностной мерой на них.

В реальных задачах требуется не только описать все пространства стратегий, но и произвести их анализ. С этой целью вводится хар-ка, оценивающая результат применения данной стратегии. В теории статистич. решений это — ф-ция риска, оценивающая потери при принятии какого-то решения, если природа находилась в определ. состоянии. В теории оптим. управления это — функционал, оценивающий в каком-то смысле работу системы управления, к-рую можно интерпретировать как стратегию УУ. В теории игр это — платежная ф-ция, оценивающая в условных единицах плату одного игрока другому, если противники выбирают определ. стратегии (имеется в виду игра двух лиц).

Физич. смысл хар-ки, оценивающей применение к.-н. стратегии, подсказывает каждый раз, какое значение ее наиболее выгодно для всех действующих участников задачи. Напр., в задаче с одним действующим лицом, осуществляющим целенаправл. операции против нейтральной природы, все возможные состояния к-рой известны, часто требуется минимизировать при помощи выбора стратегий из исходного пространства решающих ф-ций ср. байесов риск, т. к. он пропорционален потерям при неправильных решениях. В теории игр со строгим соперничеством противников один игрок максимизирует платежную ф-цию, др. ее минимизирует, т. к. она представляет собой плату первому игроку. Вопрос о том, какое значение платежной ф-ции является удовлетворительным для обоих игроков, решается т. н. критерием уравновешенности или эквивалентным ему для нулевых матричных игр с двумя участниками критерием *минимакса*.

В теории оптим. управления управляющие воздействия должны быть выбраны из исходного пространства такими, чтобы минимизировать к.-л. технико-экономич. хар-ку, время переходного процесса или расход энергии и т. п.

Так для каждой задачи формулируется критерий, по к-рому выбираются О. с. из исходного пространства стратегий. Стратегия будет оптимальной для данного критерия, если хар-ка, оценивающая выгодность применения каждой стратегии, принимает желаемое значение. Напр., в теории игр такой хар-кой будет платежная ф-ция, а О. с. определяется критерием минимакса.

Критерий может не согласовываться с исходным пространством стратегий, т. е. в нем может не быть О. с. Тогда прибегают к расширению этого пространства. Так, в теории игр вводится понятие смешанных стратегий, представляющих собой вероятностную меру над исходным пространством, т. н. пространством чистых стратегий. Оказывается, что среди смешанных стратегий обязательно найдутся (по крайней мере, если чистых стратегий конечное или счетное число) оптимальные. Этот факт устанавливается в осн. теореме теории игр.

О. с. можно классифицировать по информации, доступной для их построения. Когда известна вся необходимая информация и необходимо осуществить только целенаправл. действия с помощью О. с., их вид наиболее прост. Так, в теории игр с полной информацией О. с. находятся среди чистых стратегий исходного пространства. В др. задачах, когда информация об окружающей средо или противнике известна неполностью, О. с. имеет более сложный вид. В теории игр это смешанная стратегия. Наконец, можно рассматривать задачи, в к-рых информация может уточняться постепенно в процессе применения стратегии. К этому направлению следует отнести последовательный анализ Вальда [см. 2] и теорию *дуального управления* [4].

О. с. классифицируют также по длительности времени, в течение к-рого они действуют. Так, в теории игр наряду с фундамент. звеном — теорией одношаговых игр, когда противники делают свой выбор одновременно и независимо один раз, рассматриваются многошаговые и стохастич. игры, заканчивающиеся обязательно в конечный промежуток времени. Развивается также теория рекурсивных игр и игр на выживание, когда игра может закончиться, если противники достигнут заранее намеченной цели, или продолжаться неограниченно долго, если этого не произойдет.

Обычно последовательное накопление информации для построения О. с. предполагает многоэтапность ее реализации. Такая ее схема предложена в теории дуального управления. Там показано, что О. с. управления разомкнутой системы при безынерционности объекта в данный момент не влияет на оптим. управление в будущем, в замкнутой же автоматич. системе в общем случае такое влияние имеет место из-за дуального характера оптим. управления.

Лит.: 1) Von-Neumann J., Morgenstern O., Theory of games and economic behavior, [3 ed.], Princeton, 1953; 2) Блекуэлл Д. и Гиршик М. А., Теория игр и статистических решений, пер. с англ., М., 1958; 3) Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; 4) его же, Теория дуального управления, «АиТ», 1960, т. 21, № 9, 11; его же, там же, 1961, т. 22, № 1, 2.

М. Ю. Гаджиев.

ОПТИМАЛЬНЫЙ ПРОЦЕСС ПО БЫСТРОДЕЙСТВИЮ (time-optimal process; processus de durée optimale; Optimalprozeß bezüglich des zeitlichen Ablaufs) — переход динамич. системы из нач. состояния в заданное за время минимально возможное при наложенных ограничениях.

Ограничения, стесняющие движение динамич. системы, влияют также на достижимые значения функционала, представляющего собой критерий оптимальности процесса движения системы (см. *Оптимального управления критерии*). В связи с этим возникают задачи нахождения для заданной системы при определ. ограничениях таких допустимых процессов, к-рым соответствует наивыгоднейшее значение критерия оптимальности. Эти задачи рассматриваются в теории *оптимального управления*. Если критерием оптимальности процесса считать время t_p перехода системы из нач. состояния в заданное, то при $t_p=\min$ получим О. п. по б.

Определим его форму для системы (рис. 1), состоящей, напр., из двух интегрирующих звеньев, при наличии ограничения на управляющее воздействие u вида

$$u_1 \leqslant u \leqslant u_2.$$

Пусть требуется перевести систему из нач. состояния $S_н=S_1$, $\omega_н=0$ в заданное состояние $S_р=S_2$, $\omega_р=0$. Поскольку при движении системы ее скорость ω должна возрастать от 0, а затем снова обратиться в 0, переход системы должен содержать участки ускорения и замедления. Время перехода будет минимально, если в период ускорения будет поддерживаться предельное положительное значение ускорения (соответствующее предельному управляющему воздействию $u=u_2$), а в период замедления — предельное отрицат. значение ускорение (соответствующее предельному управляющему воздействию $u=u_1$), как это показано на рис. 2.

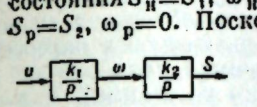


Рис. 1. Блок-схема системы с двумя интегрирующими звеньями.

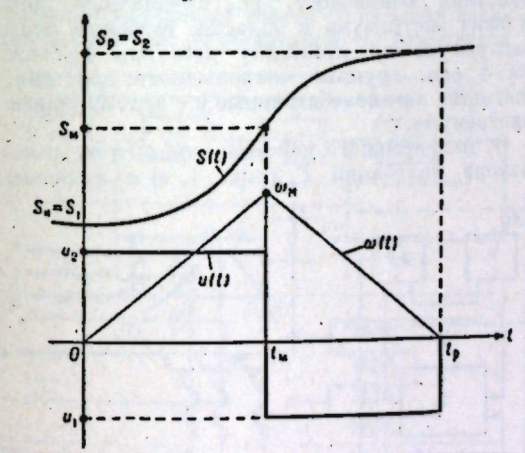


Рис. 2. Графики изменения скорости системы и управляющего воздействия во времени.

Если бы в течение всего или части периода ускорения управляющее воздействие u поддерживалось на меньшем уровне, чем u_2 (большее значение недопустимо), то за время $t_м$ скорость системы достигла бы значения меньшего, чем $\omega_м$, и прошла бы меньший путь, чем $S_м$. За время, оставшееся до момента $t_р$, невозможно довести выходную величину до значения S_2, а скорость до нуля, изменяя воздействие u в заданных пределах. Следовательно, любой переход, отличный от показанного на рис. 2, будет характеризоваться большей длительностью, чем $t_р$. Совокупность оптим. процесса перехода рассматриваемой системы из любого нач. состояния в заданное удобно изображать на фазовой плоскости. Такая совокупность дана на рис. 3 для случая, когда заданное состояние системы изображается точкой, располож. в начале координат плоскости S, ω, и, кроме ограничения по u, накладывается также ограничение на допустимый диапазон изменения значений ω — скорости изменения выходной величины, определяемой неравенством $\omega_1 \leqslant \omega \leqslant \omega_2$.

Характерная особенность О. п. (рис. 3) состоит в том, что в любой момент времени к.-л. из огранич. координат системы (в данном случае координат u и ω) находится на

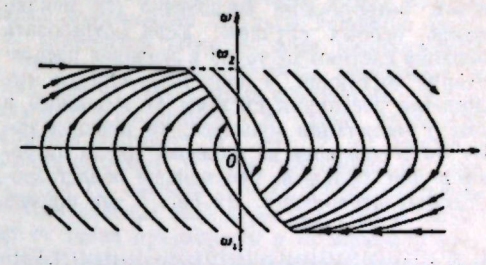


Рис. 3. Совокупность оптим. процессов при ограничении 1-й и 2-й производных от регулируемой величины.

предельном уровне. Наличие этой особенности доказано [1] для весьма широкого класса систем при любом числе управляющих воздействий.

Характерной чертой О. п. по б. с одним управляющим воздействием является их разделение на ряд следующих друг за другом интервалов, причем в каждом из интервалов управляющее воздействие постоянно находится на одном из своих предельных уровней. Число интервалов определяется порядком ур-ний, связывающих огранич. координаты управляемого объекта и управляемую величину. При переходе от каждого предыдущего интервала к последующему управляющее воздействие должно скачкообразно изменяться. В случаях, когда существенным является лишь ограничение, налож. на управляющее воздействие u, а промежуточные координаты объекта не достигают предельных значений, число интервалов процесса равно n — порядку ур-ния, связывающего управляемую величину с управляющим воздействием [2]. В более сложных случаях, когда промежуточные координаты объекта достигают предельных значений, число интервалов процесса m можно определить по ф-ле

$$m=(r+1)\ (s+1)\ (q+1)\ldots-1,$$

где r, s, q ... — порядки ур-ний, связывающих огранич. координаты x_i, x_j, x_k... Макс. число интервалов оптим. процесса имеет место тогда, когда все координаты объекта достигают своих предельных значений. Оно равно $m=2^n-1$.

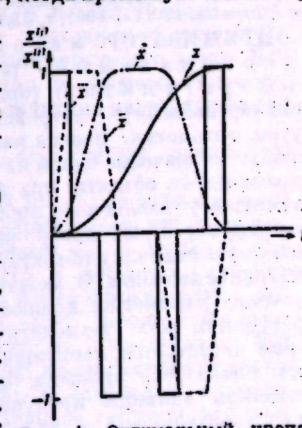


Рис. 4. Оптимальный процесс перехода в системе при ограничении 1-й, 2-й и 3-й производных от управляемой величины.

На рис. 4 в качестве примера показана форма О. п. для объекта, состоящего из интегрирующих звеньев, в случае, когда все его промежуточные координаты достигают предельных значений.

О. п. по б. для систем с распредел. параметрами могут быть определены на основании обобщ. принципа максимума [4]. Если требуется достигнуть заданного распределения состояния управляемого объекта в пространстве, то число интервалов О. п. по б. для таких систем теоретически бесконечно (за исключением особых случаев). Если потребовать перехода системы не точно в заданное распределение состояния, а допустить определ. отклонения состояния системы от заданного в момент окончания процесса, то переход может быть совершен за конечное число интервалов тем бо́льшее, чем меньше область допустимых отклонений. На рис. 5 дан пример

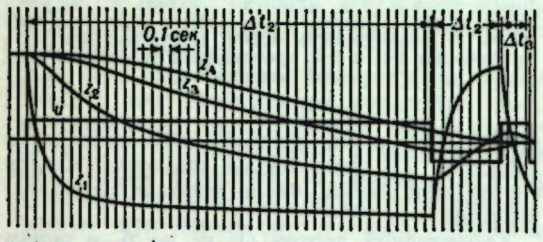


Рис. 5. Оптимальный процесс перехода системы с распредел. параметрами из нач. состояния в близкое к заданному.

оптим. процесса одномерного нагрева слитка, при к-ром заданное с определ. допуском распределение темп-р по сечению слитка достигается за миним. время. Управление нагревом здесь осуществляется изменением на границе слитка темп-ры u, к-рая ограничена пределами $u_1 \leqslant u \leqslant u_2$. Кривые $z(t)$ изображают процессы изменения темп-ры в соответствующих точках слитка.

Лит.: 1) Понтрягин Л. С. [и др.], Математическая теория оптимальных процессов, М., 1961; 2) Фельдбаум А. А., Оптимальные процессы в системах автоматического регулирования, «АиТ», 1953, т. 14, № 6; 3) Лернер А. Я., Улучшение динамических свойств автоматических компенсаторов при помощи нелинейных связей, там же, 1952, т .13, № 2 и № 4; 4) Бутковский А. Г., Принцип максимума для оптимальных систем с распределенными параметрами, «АиТ», 1961, т. 22, № 10. *А. Я. Лернер.*

ОПТИМИЗАТОР автоматический одноканальный (экстремальный регулятор) (optimizer; optimaliseur; Optimisator) — устройство, позволяющее путем автоматич. поиска находить и поддерживать то значение одной из входных величин управляемого объекта, при к-ром один из показателей управляемого процесса (показатель экстремума, к-рый можно рассматривать как выходную величину объекта) принимает экстремальное значение. О. может находить, напр., значение параметра, влияющего на характер протекания к.-л. технологич. процесса, при к-ром достигается наилучший технико-экономич. показатель процесса (макс. кпд, миним. стоимость единицы продукции, наибольшая производительность и др.). Если показатель экстремума — заранее известная функция др. координат системы, то экстремум можно поддерживать обычным автоматич. или программным регулятором. О. используют в тех случаях, когда экстрем. значение искомой функции заранее неизвестно или изменяется под влиянием факторов, не поддающихся заранее учету — внешних случайных воздействий и внутренних шумов. Если x—положение регулирующего органа, $y=f(x)$ — показатель экстремума, то в точке экстремума частная производная $f'_x=\frac{\partial y}{\partial x}=0$. О. не только должен привести систему в точку, где выполняется это равенство, но и установить, что эта точка является именно точкой искомого экстремума (напр., макс.), а не точкой перегиба и не точкой экстремума противоположного рода (напр., миним.). Для большинства существующих типов О. необходимо заранее знать, что в данной области существует экстремум, причем единственный. Если в данной области существует неск. однотипных экстремумов, то перед включением О. в работу необходимо предварительно обследовать область и привести О. в подобласть, являющуюся окрестностью искомого экстремума (наибольшего из макс. или наименьшего из миним.). Т. к. непосредственное измерение f'_x неизвестной функции невозможно, ее определяют косвенно, по производным x и y по времени $-\frac{dx}{dt}$ и $\frac{dy}{dt}$. Для этого требуется непрестанное изменение координат, к-рое осуществляется в процессе поиска. Воздействия О. на систему делят на пробные и рабочие. Пробные воздействия служат для выявления знака, а иногда и величины f'_x, рабочие — для приведения системы к экстремуму. Часто пробные и рабочие воздействия совмещают. О., предназнач. для поиска экстремума в области, имеющей один экстремум, по принципу действия делятся на 4 осн. группы: непрерывного действия, шаговые, автоколебательные и с запоминанием экстремума.

О. непрерывного действия состоит из генератора колебаний $Г$ (рис. 1, *а*) и фазового

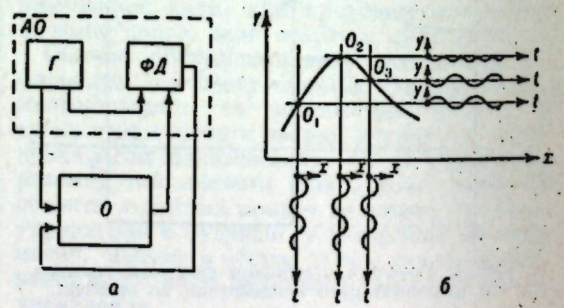


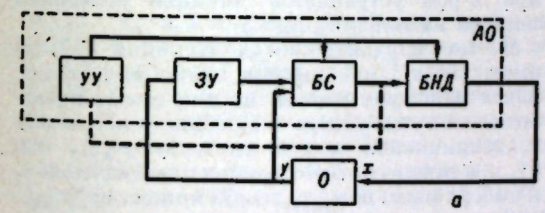
Рис. 1. Одноканальный оптимизатор непрерывного действия: *а* — блок-схема автоматич. оптимизатора *АО*; *б* — график зависимости входных и выходных величин объекта.

дискриминатора *ФД*. Генератор подает на вход объекта управления *О* небольшую переменную составляющую воздействия, имеющую пост. частоту. Вследствие этого система непрерывно находится в режиме вынужденных колебаний (рис. 1, *б*). Фаза колебания выходной величины y зависит от того, с какой стороны от экстремума находится изображающая точка на хар-ке объекта. При прохождении через экстремум фаза изменяется на противоположную. *ФД* улавливает эти изменения фазы и изменяет ср. значение величины x так, чтобы оно соответствовало экстрем. значению. В качестве *ФД* часто применяют множительные и интегрирующие звенья, соединенные последовательно. Достоинство О. непрерывного действия — значит. помехоустойчивость, недостаток — необходимость компенсации сдвига фазы, возникающего при работе О. с инерц-

объектом. Такая компенсация осложняется часто тем, что сдвиг фаз не остается постоянным. Непрерывные возмущения, подаваемые на вход объекта, часто отрицательно сказываются на протекании технологич. процесса.

Поиск экстремума в системе с шаговым О., получившей наибольшее распространение, ведется вычислением в дискретные моменты времени приращений выходной величины объекта, обусловленных ступенчатыми изменениями входной величины. Для этого О. запоминает значение выходной величины, изменяет входную величину и сопоставляет прежнее значение выходной величины с новым ее значением. Если при этом выходная величина изменилась в правильном направлении (в сторону экстремума), направление изменения входной величины сохраняется; при изменении выходной величины в неправильном направлении входная величина изменяется в противоположном направлении. Существуют шаговые О. с пост. величиной шага, а также с величиной шага, зависящей от значения производной f'_x. Входные и выходные сигналы могут сопоставляться как через равные интервалы времени, так и через интервалы времени, зависящие от f'_x.

На блок-схеме шагового О. (рис. 2,*а*) показан управляемый объект *О*, входная величина к-рого под воздействием О. изменяется



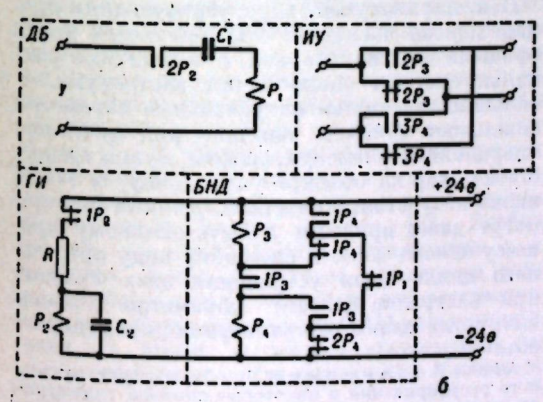


Рис. 2. Одноканальный оптимизатор шагового действия: *а* — блок-схема шагового оптимизатора; *б* — схема релейного оптимизатора; *ДБ* — дифференцирующий блок.

через интервалы времени T на величину Δx. Вследствие этого изменяется выходная величина объекта y. На блоке сравнения *БС* формируется разность Δy текущего значения $y(t)$ и прежнего значения выходной величины $y(t-T)$ до изменения x, запоминаемого в *ЗУ*: $\Delta y = y(t-T) - y(t)$. Если знак Δy свидетельствует о правильном направлении изменения y, направление следующего шага Δx не изменяется. Если y изменяется в неправильном направлении, дается команда блоку направления движения *БНД*, к-рый изменяет знак последующего шага Δx. Сравнения значений y, а также изменения x производятся в моменты времени, задаваемые *УУ*.

На вход *УУ* может подаваться величина Δy, в соответствии со значением к-рой изменяется либо интервал времени между измерениями приращений T, либо величина шага Δx. Вследствие этого по мере приближения к точке минимума скорость изменения x уменьшается (для кривых с монотонно возрастающей производной). В схеме релейного варианта шагового О. (рис. 2, *б*) имеются поляризов. реле P_1, три неполяризов. реле P_2, P_3 и P_4, емкости C_1 и C_2 и сопротивление R. Направление тока через катушку P_1 зависит от знака приращения y за интервал времени T, задаваемый генератором импульсов

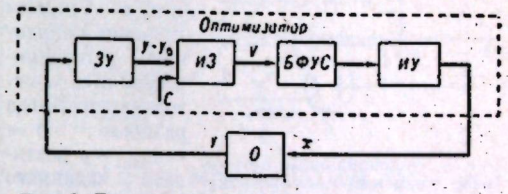


Рис. 3. Блок-схема одноканального оптимизатора с перем. интервалами времени между шагами.

ГИ. При неправильном направлении изменения y под воздействием контакта реле P_1 изменяется состояние контактов реле $2P_2$ и $3P_4$ исполнительного устройства *ИУ*. Вторым примером шагового О. является система с пост. величиной шага и перем. интервалами времени между шагами. Достоинство этого О. — повыш. помехоустойчивость, сравнит. малое количество пробных воздействий, вводимых в систему в процессе поиска, а также возможность находить не только экстрем. значения выходной величины, но и значения, соответствующие заданному наклону касательной к статической характеристике объекта. На входе О. (рис. 3) установлено *ЗУ*, формирующее разность текущего значения y и его значения y_0 в момент времени, принятый за нулевой. Выходная величина *ЗУ* подается на вход интегрирующего звена *ИЗ*. В том случае, когда в процессе интегрирования выходная величина интегрирующего звена $V=\int_0^t (y-y_0)\,dt$ достигает одного из порогов, равных $+P_0$ и $-P_0$, подаются команды в *ЗУ* для запоминания нового значения выходной величины объекта y_0, а также в *ИЗ* для возвращения его в первонач. нулевое состояние и на вход блока формирования управляющего сигнала *БФУС*. Последний в этом случае дает команду на перемещение *ИУ* в ту или иную сторону, в зависимости от знака достигнутого порога. В отдельных случаях необходимо найти заданное значение наклона касательной к статич. хар-ке объекта (см. *Оптимизации система* на реальном объекте). С этой целью на вход *ИЗ* подается дополнит. воздействие C, пропорцион. углу наклона касательной. Шаговые О. с экстраполяцией делают неск. пробных шагов и определяют f'_x в неск. точках, после чего вычисляют по той или иной экстраполяц. ф-ле перемещение x_p регулирующего органа, необходимое для приведения системы в непосредственную близость к экстремуму. Так, линейные экстраполяторы

определяют f_{x1} и f_{x2} в двух точках x_1 и x_2 (для чего необходимы два пробных шага), после чего перемещают регулирующий орган на величину $\Delta x_р = f_{x2}(x_2 - x_1) : (f_{x1} - f_{x2})$.

В системах О. с запоминанием экстремума координата x (рис. 4,*а*) изменяется с пост. скоростью. Например, в системе с автоматич. максимизацией величины y макс. значение координаты y, достигнутое в момент $t_м$, фиксируется в спец. ячейке памяти. После перехода через максимум текущее значение координаты y сравнивается с ее макс. значением. Когда разность $\delta = y_{макс} - y$ достигает заданного значения $\delta_{макс}$, происходит реверс направления изменения координаты x; одновременно $y_{макс}$ стирается из ячейки памяти. Координата y снова начинает возрастать, приближаясь к экстремуму с др. стороны, и процесс повторяется. Разность δ может быть сформирована при помощи схемы (рис. 4,*б*). При увеличении y напряжения на конденсаторе C равны значению y, причем $\delta=0$. При уменьшении y диод $Д$ запирается, напряжение на C остается равным $y_{макс}$ и на нем возникает напряжение δ.

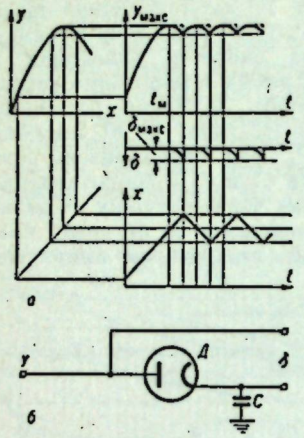


Рис. 4. Одноканальный оптимизатор с запоминанием экстремума: *а* — графики зависимости входных и выходных величин во времени; *б* — электрическая схема.

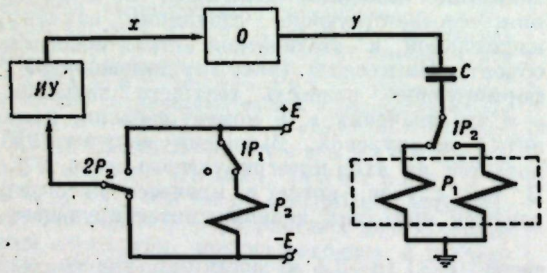


Рис. 5. Автоколебат. одноканальный оптимизатор.

В варианте системы с О. автоколебат. типа (рис. 5) выходная величина y управляемого объекта O через конденсатор C и контакт реле $1P_2$ подается на одну из обмоток двухобмоточного поляризов. реле P_1. Направление тока через обмотку P_1 определяется направлением изменения y. Если y изменяется в нежелат. направлении, реле P_1 срабатывает и контактом $1P_1$ размыкает обмотку реле P_2. Последнее своим контактом $2P_2$ изменяет направление движения $НУ$, к-рое, в свою очередь, реверсирует направление изменения входной величины x управляемого объекта. Такая система совершает автоколебания около точки экстремума.

Существуют О. с делением производных, к-рые выявляют $\frac{dx}{dt}$, $\frac{dy}{dt}$ и находят с помощью элемента деления величину $f'_x = \frac{dy}{dt} : \frac{dx}{dt}$. О. этого типа прекращают работать, когда в системе устанавливается равновесие; в нее приходится вводить искусств. периодич. возмущения или же делать схему автоколебательной. Др. недостаток системы — трудность деления на малые величины.

Иногда О. используют флюктуации в объектах управления и не требуют введения спец. воздействий или создания автоколебаний. Величины $x(t)$ и $y(t+\tau)$ (где τ — время пост. запаздывания) поступают в вычислит. устройство *3* (рис. 6), вычисляющее взаимнокорреляционную функцию $\varphi(\tau) = \frac{1}{T}\int_0^T x(t)\ y(t+\tau)\,dt$.

Когда y не зависит от x и $f'_x = 0$, одновременно обращается в нуль и функция φ.

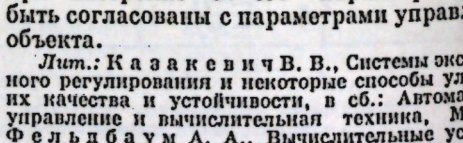


Рис. 6. Блок-схема одноканального оптимизатора с воздействием по взаимнокорреляционной функции переменных x и y: *1* — объект; *2* — регулирующий орган; *3* — вычислительное устройство.

На регулирующий орган объекта оказывается воздействие, пропорциональное φ. Подобные системы применяются, напр., для управления расстоянием между валками прокатного стана, при к-ром устраняется влияние колебаний темп-ры на толщину листа.

В тех случаях, когда функция $y=f(x)$ имеет неск. максимумов или минимумов, поиск макс. или миним. из них может производиться путем обзора всей области изменения x, запоминания получ. значений $y_{f\,макс}$ или $y_{f\,мин}$, а также соответствующих им значений x_i и выбора макс. из $y_{f\,макс}$, либо миним. из $y_{f\,мин}$.

Осн. параметрами, характеризующими процесс поиска в системе с О., является время процесса поиска, период и амплитуда рысканья системы около точки экстремума. У большинства систем на указанные параметры оказывают существ. влияние ряд факторов: инерционные элементы, люфты, сухое трение, статич. хар-ка объекта управления, а также вилка нечувствительности О. Данные факторы могут даже привести к неустойчивому процессу поиска либо к сложному виду предельного цикла. Для устранения этих явлений при настройке О. его параметры должны быть согласованы с параметрами управляемого объекта.

Лит.: Казакевич В. В., Системы экстремального регулирования и некоторые способы улучшения их качества и устойчивости, в сб.: Автоматическое управление и вычислительная техника, М., 1958; Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; Автоматическая оптимизация управляемых систем, пер. с англ., под ред. Б. Н. Петрова, М., 1960; Ивахненко А. Г., Самонастраивающиеся системы автоматического регулирования, Киев, 1957; Фицнер Л. Н., Электрические автоматические оптимизаторы, «Э-во», 1960, № 8; Цянь-Сюэ-сэнь, Техническая кибернетика, пер. с англ., М., 1956; Челюсткин А. Б., Применение вычислительных устройств в системах автоматического управления прокатными станами, в кн.: Труды I Международного конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т. 4], М., 1961. *А. А. Воронов, Л. Н. Фицнер.*

ОПТИМИЗАТОР АВТОМАТИЧЕСКИЙ многоканальный (ОАМ) (automatic optimizer; optimaliseur automatique; selbsttätiger Optimisator) — устройство, находящее

путем *поиска автоматического* совокупность значений переменных $x_1, x_2, \ldots, x_n$ (n равно числу каналов ОАМ), соответствующую экстремуму функции $Q(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ от этих переменных. Поиск экстремума Q может проводиться при наличии дополнит. ограничений, т. е. при соблюдении дополнит. условий: нек-рые ф-ции $H_j(x_1, x_2, \ldots, x_n)$ $(j=1,\ldots,m)$ от тех же переменных не должны выходить за заданные пределы. Т. о. ищется экстремум Q при условиях $A_j < H_j < B_j$ $(j=1,\ldots,m)$. На рис. 1 дана схема соединения ОАМ с объектом. На объект оптимизации подаются переменные

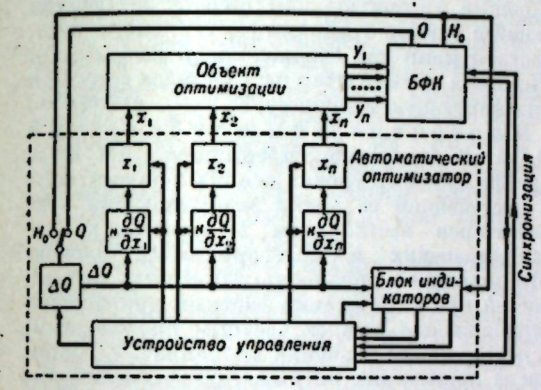


Рис. 1. Схема соединения многоканального оптимизатора с объектом.

$x_1, x_2, \ldots, x_n$, и в блоке формирования критерия (БФК) из координат объекта y_i, зависящих от x_i, формируется критерий Q. Обычно из ф-ций H_j формируется одна ограничивающая ф-ция H_0, к-рая равна нулю, если ограничения не нарушены, и становится больше нуля при нарушении хотя бы одного ограничения. Алгоритм поиска зависит от свойств ф-ций Q и H_0. Если при заданной совокупности переменных Q и H_0 определяются не сразу, а спустя нек-рое время как результат процесса решения на модели, то для поиска в этом случае пригодны только шаговые методы с дискретностью по времени (см. *Поиск итерациями*). Если ф-ции Q и H_0 образуются, как ф-ции мгновенных значений переменных $x_1, x_2, \ldots, x_n$, то, кроме шаговых методов, пригодны нек-рые непрерывные методы поиска [3]. Вообще говоря, характер объекта оптимизации, т. е. свойства ф-ции Q, играет решающую роль при выборе метода поиска и, соответственно, схемы оптимизатора. Схема ОАМ усложняется, если Q имеет несколько экстремумов, из к-рых требуется найти наилучший в каком-то смысле.

Наиболее распространены ОАМ, работающие по принципу определения градиента и дальнейшего движения по градиенту оптимизируемой ф-ции (в случае поиска максимума) и против градиента (в случае поиска минимума). В общем случае ОАМ имеет вход для экстремизируемой ф-ции Q и ограничивающих ф-ций H_j. Выходом его является совокупность значений переменных $x_1, x_2, \ldots, x_n$ (выходы каналов), изменяя к-рые ОАМ находит и в дальнейшем поддерживает экстрем. значение ф-ции Q.

При работе с моделями или вычислит. устройствами критерий оптимальности Q иногда образуется лишь в конце цикла решения. К таким критериям относятся: макс. перерегулирование, время регулирования и различные интегр. критерии, т. е. интегралы за нек-рый промежуток времени. В этом случае на ОАМ должны подаваться синхронизирующие импульсы. Они сигнализируют о том, что

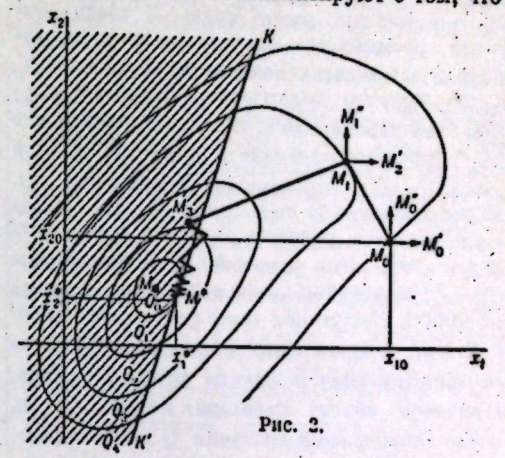


Рис. 2.

значение ф-ции вычислено. ОАМ после окончания переходных процессов внутри него дает команду на определение нового значения ф-ции.

Рассмотрим работу ОАМ в случае, когда минимизируемая ф-ция Q зависит от двух переменных x_1, x_2. На рис. 2 в плоскости координат (x_1, x_2) замкнутые линии представляют линии $Q=\text{const}$, на к-рых она равна Q_1, Q_2, Q_3 и т. д. Пусть Q_0 — истинный минимум и $Q_0 < Q_1 < Q_2 < Q_3 \ldots$. Линия KK' является границей допустимой области; слева от этой линии нарушаются ограничения и величина $H_0 > 0$. Следовательно, поиск экстремума Q может происходить лишь справа от KK'. Пусть перед

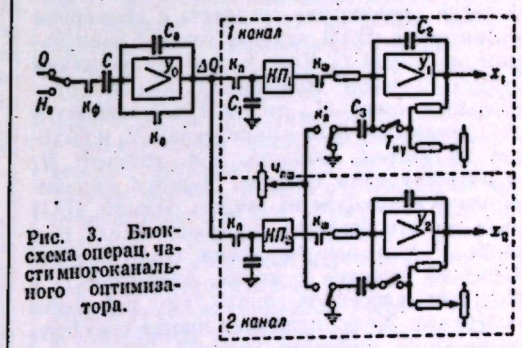


Рис. 3. Блок-схема операц. части многоканального оптимизатора.

ОАМ стоит задача: начиная от точки x_{10}, x_{20}, найти в допустимой области значения x_1^*, x_2^*, соответствующие миним. значению ф-ции Q. На рис. 3 дана принцип. схема операц. части ОАМ. Предполагается, что ОАМ соединен с объектом оптимизации по схеме рис. 1, и объект описывается ф-цией Q, изображ. на рис. 2. При замыкании тумблера $T_{НУ}$ на интеграторах $У_1$ и $У_2$ устанавливают нач. условия x_{10} и x_{20}. При пуске устройство управления ОАМ подает команду на определение ф-ций Q и H_0. Ф-ция $У_0$ поступает на блок индикаторов, к-рый ставит переключатель на входе усилителя $У_0$ в положение Q, если ограничения не нарушены, и в положение H_0, если величина $H_0 > 0$. Согласно схеме рис. 2, в данной нач. точке ограничения не нарушаются; поэтому переключатель находится

в положении Q. После определения Q замыкается контакт $k_ф$ и значение Q через емкость C подается на вход усилителя $У_0$. В первом такте контакт k_0 замкнут, и происходит запоминание значения Q на емкости C. На выходе $У_0$ напряжение равно нулю. В следующем такте размыкается контакт k_0 и в первом канале замыкается контакт $k_п$, а контакт $k'_п$ подключает емкость C_2 к напряжению $U_{пш}$; при этом переменная x_1 получает приращение Δx, а объект переходит в точку M'_0. В этой точке также происходит определение Q. Новое значение Q подается на $У_0$. На выходе $У_0$ образуется разность значений Q в точках M_0 и M'_0. Эта разность пропорциональна dQ/dx_1. Разность подается на C_1 и запоминается на ней. В следующем такте размыкаются контакты $k_п$ и $k'_п$ первого канала и замыкаются соответствующие контакты второго канала. При этом объект переходит в точку M''_0 и, после определения значения Q в этой точке, разность значений Q в точках M_0 и M''_0 выделяется на усилителе $У_0$ и запоминается на емкости C_1 второго канала. Затем одновременно замыкаются контакты $k_ш$ в обоих каналах, и на входы интеграторов $У_1$ и $У_2$ через катодные повторители (*КП*) подаются напряжения с конденсаторов C_1, пропорцион. соответствующим частным производным, т. е. переменные x_1 и x_2 будут изменяться по линии M_0M_1. Это направление противоположно градиенту Q и направлено к минимуму. Движение по M_0M_1 происходит небольшими шагами. После каждого такого шага проверяется приращение Q. Если Q перестает уменьшаться (точка M_1), аналогичным образом происходит определение нового градиента уже в точке M_1. Чередуя определение градиента с движением к минимуму, ОАМ находит точку с наименьшим значением Q. Если в процессе движения будут нарушены ограничения, как это произошло в точке M_3, то ОАМ переключается с минимизации Q на минимизацию H_0 и выходит из запрещ. области, т. к. градиент H_0 перпендикулярен границе. Чередуя минимизацию Q с выходом из запрещ. области, ОАМ идет зигзагообразным движением вдоль границы. Через нек-рое время ОАМ находит точку на границе с миним. значением Q и начинает совершать около нее небольшие колебания. Метод движения против градиента до частного минимума получил назв. метода наискорейшего спуска; преимущество его — сравнительно большая скорость. При применении метода градиента определение нового значения градиента происходит после одного шага по направлению предыдущего градиента; это увеличивает точность поддержания экстремума в установившемся режиме. В ОАМ используется поиск по методу наискорейшего спуска (вдали от экстремума) и метод градиента (вблизи от экстремума). Этим достигается сочетание быстроты поиска и точности поддержания экстремума.

Среди более простых методов поиска следует отметить автоматический поиск по методу Гаусса — Зайделя. В том случае, когда критерий оптимальности и переменные связаны дифференц. ур-нием, можно изменять переменные по закону гармонич. колебаний различных частот. Частные производные при этом определяются одновременно путем выделения гармоник. составляющих выходной величины, соответствующих частотам входных величин [3]. С помощью ОАМ можно находить экстремум ф-ции 10—20 переменных. При большем числе переменных поиск становится затруднительным ввиду уменьшения значений частных производных и замедления процесса. ОАМ, работающие по описанному алгоритму, разработаны в Институте автоматики и телемеханики (СССР). ОАМ имеют релейное или электронное управление. Число каналов — 10—12. В нек-рых ОАМ предусмотрены более сложные алгоритмы для поиска экстремума ф-ций с узкими гребнями [4] и ф-ций с неск. экстремумами (см. *Оптимизатор глобальный*). Релейный оптимизатор на 7 каналов встроен в моделирующую установку ЭМУ-10. *А.Б.Шубин.*

Многоканальный дискретный О. а. В дискретно-непрерывном ОАМ из-за дрейфа нулевого уровня усилителей пост. тока и постепенной разрядки запоминающих конденсаторов нестабильны во времени хар-ки запоминающих и интегрирующих блоков. Это приводит к появлению случайных погрешностей при определении частных приращений (приближенно равных частным производным) и поддержании значений координат. С ростом числа переменных оптимизируемой величины, при длит. хранении частных приращений

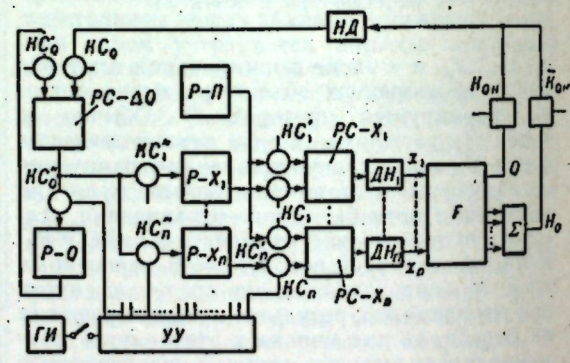


Рис. 4. Блок-схема операц. части оптимизатора дискретного действия.

или значений координат (напр., при работе с инерц. объектами) эти погрешности, наряду с шумами на выходе объекта, оказывают существ. влияние на качество поиска и сходимость процесса. Погрешности ОАМ и преобразующих устройств, стоящих между выходами ОАМ и входами объекта, к-рые можно рассматривать как шумы на входах объекта, более опасные, чем шумы на выходе объекта [5]. Один из способов уменьшения шумов на входе объекта — применение О. а. дискретного действия (ДАО), в к-рых квантование величин ведется по времени и по уровню.

Универсальные или специализир. вычислительные машины со специализиров. АУ и ЗУ целесообразно использовать в качестве ДАО в тех случаях, когда число переменных велико, оптимизируемая величина имеет несколько экстремумов, а ограничения — сложный характер, или когда методы поиска являются более сложными, чем используемые в схемах, приведенных выше. Более прост ДАО, блок-схема операц. устройства к-рого дана на рис. 4 [6]. Для связи объекта F с О. а. используются преобразователи $ДН_i$ ($i=1, \ldots, n$) и

НД для преобразования дискретных величин в непрерывные и обратно. i-ый канал ДАО включает реверсивный счетчик $РС-X_i$ для хранения значений координат x_i и запоминающий регистр $Р-X_i$ для хранения частного приращения оптимизируемой величины Q по координате x_i. Величина пробного приращения хранится в общем для всех каналов регистре $Р-П$. Определение частных приращений производится в реверсивном счетчике $РС-\Delta Q$. Для сокращения числа обращений к выходу объекта при измерении Q (во время определения градиента) значение Q, имеющее место после очередного рабочего шага, хранится в регистре $Р-Q$. Сравнивая приращение Q за рабочий шаг с числом, введенным перед работой в регистр $Р-\xi$, определяют момент перехода от поиска по методу наискорейшего спуска к методу градиента. Коды частных приращений передаются из $РС-\Delta Q$ в $Р-X_i$ параллельным переносом с одноврем. умножением на коэфф. рабочего шага (достигается сдвигом кодов влево или вправо на определ. число разрядов).

Существ. влияние на быстродействие ДАО оказывает тип связей между регистрами и счетчиками, осуществляемых блоками *КС*. В простейшем случае двоичный код, хранимый в регистре для перевода в реверсивный счетчик, преобразуется в число — импульсный код. Значительно большее быстродействие достигают при передаче кодов из регистров в счетчики параллельно по всем разрядам. Счетчик в этом случае работает в режиме двоичного накопителя. Последовательность операций в операц. устройстве ДАО задается УУ, представляющим собой кольцевой счетчик, триггерный регистр или матричный распределитель.

Возможно следующее упрощение блок-схемы ДАО: а) отсутствуют числовые разряды в регистрах $Р-X_i$, если рабочие шаги производятся пропорционально не частным приращениям, а постоянной величины [7]; б) регистры $Р-X_i$ отсутствуют полностью, если автоматический поиск ведется только по методу Гаусса— Зайделя; в) счетчики $РС-X_i$ (вместе с преобразователями $ДН_i$) заменяются

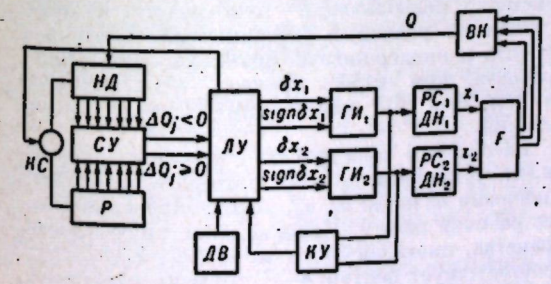


Рис. 5. Блок-схема оптимизатора дискретного действия Орсоп.

реверсивными шаговыми двигателями, если можно ограничиться меньшей скоростью работы ДАО, и т. п.

В США создан и нашел применение простой, но медленно действующий ДАО Орсоп (рис. 5), осуществляющий поиск минимума ф-ции двух переменных методом последоват. измерения и сравнения значений оптимизируемой ф-ции в восьми направлениях от рабочей точки с последующим производством рабочего шага по одному из этих направлений [8]. Оптимизируемая величина формируется в вычислителе критерия *ВК* и через преобразователь *НД* поступает на вход сравнивающего устройства *СУ* для сравнения со значением, хранящимся в регистре $Р$ и являющимся минимальным из всех проверенных. Если новое значение оказывается меньше, оно запоминается в $Р$ вместо предыдущего.

Изменение значений координат x_1 и x_2, хранящихся в реверсивных счетных $РС_1$ и $РС_2$, производится подачей импульсов от генераторов импульсов $ГИ_1$ и $ГИ_2$, знак и количество к-рых устанавливается логич. устройством *ЛУ* согласно алгоритму работы и результатам сравнения в *СУ*. Синхронизируется работа блока датчиком времени *ДВ*. Правильность работы ДАО время от времени проверяется при помощи контрольного устройства *КУ*. *Ц. Ц. Паулаускас.*

Лит.: 1) Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; 2) Красовский А. А., Поспелов Г. С., Основы автоматики и технической кибернетики, М.—Л., 1962; 3) Бочаров И. Н. [и др.], Многоканальные автоматические оптимизаторы 2—АО—12/5 и 3—АО—10/5, М., 1960 (Передовой научно-техн. и произв. опыт. Тема 27, № А—60—21/5); 4) Стаховский Р. И., Многоканальный автоматический оптимизатор для решения вариационных задач, «АиТ», 1959, т. 20, № 11; 5) Паулаускас Ц. Ц., Исследование градиентной системы автоматической оптимизации при наличии случайных помех на входе и выходе объекта, «АиТ», 1962, т. 23, № 1; 6) его же, Дискретный автоматический оптимизатор, там же, № 5, № 11; 7) Гришанин Ю., Автомат выбора оптимальных параметров, М., 1961 (Передовой научно-техн. и произв. опыт. Тема 28, №А—61—97/18); 8) Burt D. A., An optimizing control for the process industries, «Paper Amerc. Soc. Mech. Engrs.», 1954, № AUT—4.

ОПТИМИЗАТОР ГЛОБАЛЬНЫЙ (absolute extremum optimizer; optimaliseur à extrêmum absolu; Global-Optimisator) — оптимизатор, предназнач. для автоматич. поиска глобального экстремума (наименьшего из неск. минимумов или наибольшего из неск. максимумов). При этом предполагается, что ни количество экстремумов, ни конфигурация их областей притяжения заранее неизвестны.

Для определенности ниже рассматриваются задачи минимизации. В соответствии с реализуемыми алгоритмами поиска О. г. можно подразделить на три осн. типа: с регулярным поиском, с чисто случайным поиском, со смешанным поиском. К 1-му типу относится, напр., О. г. со сканированием по всей области допустимого изменения переменных исследуемой ф-ции. Допустимая область просматривается точка за точкой в определ. порядке, и отбираются те точки, где значение ф-ции минимально. Достоинство О. г. этого типа — планомерность (регулярность) поиска, дающая при достаточно большом числе исследуемых точек определ. гарантию отыскания глобального экстремума. Однако увеличение числа точек влечет за собой резкое увеличение общего времени поиска. Действительно, если n — число переменных, от к-рых зависит исследуемая ф-ция, m — число точек просмотра по каждой переменной, t — время просмотра одной точки, то общее время поиска: $T=tm^n$.

В О. г. 2-го типа просматриваемые точки допустимой области выбираются случайным образом. После заброса изображающей точки системы (рис. 1) в случайную точку (M_{01}), принадлежащую области притяжения (S_1) одного из минимумов (точка M_1), система обычным образом (см. *Оптимизатор авто-*

матический) начинает отыскивать соответствующий минимум. Координаты точки минимума и значение ф-ции в этой точке запоминаются в блоке памяти. Далее производится серия аналогичных операций, после каждой из которых значение функции во вновь найденной точке минимума сравнивается с хранимым в блоке памяти. Если после одного из забросов изображающая точка системы окажется в области притяжения (S_2) более глубокого минимума, то после нахождения точки соответствующего минимума (точка M_2) хранящиеся в блоке памяти значения ф-ции и координат заменяются на вновь найденные. Поиск считается оконченным, если число безрезультатных забросов, при к-рых вновь найденные минимумы оказываются больше хранимого в блоке памяти, сделается равным пек-рому заданному числу. Достоинство этого типа О. г. — сравнит. простота их блок-схем, недостаток (так же, как и в О. г. 1-го типа) — большое число попыток (а следовательно, и большое время поиска), необходимое для того, чтобы вероятность

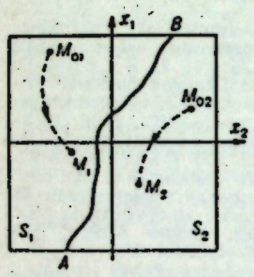


Рис. 1.

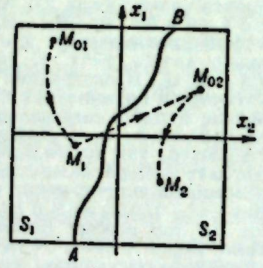


Рис. 2.

отыскания глобального экстремума была достаточно близка к единице. Однако при чисто случайном поиске существует вероятность, бо́льшая нуля, величина к-рой зависит от вида исследуемой ф-ции, отыскания глобального экстремума даже при достаточно малом числе попыток.

В О. г. 3-го типа объединяются достоинства регулярного и чисто случайного поиска. Примером может служить О. г., реализующий следующий алгоритм (рис. 2). Система, исходя из пек-рой нач. точки M_{01}, отыскивает 1-й минимум (точка M_1) и запоминает его координаты и величину (аналогично тому, как это делает О. г. 2-го типа). Затем задается случайное направление, напр. M_1, M_{02}, по к-рому производится зондирование допустимой области с пост. контролем знака приращения исследуемой ф-ции за каждый шаг движения по избранному направлению. При переходе изображающей точки системы в область притяжения 2-го минимума (S_2) знак приращения меняется (точка M_{02}) (для случая минимума делается отрицательным) и происходит переключение на поиск 2-го минимума. Если 2-й минимум окажется глубже 1-го, то координаты и величина 1-го минимума, к-рые хранятся в блоке памяти, заменяются на вновь найденные и т. д., пока произведенное подряд пек-рое заданное число попыток не окажется безрезультатным, после чего поиск считается законченным. Преимущество О. г. 3-го типа перед 2-м — бо́льшая вероятность отыскания глобального экстремума при прочих равных условиях. Действительно (рис. 3), пусть глобальный экстремум находится в точке M_2, а первым был найден локальный экстремум (точка M_1). Тогда при чисто случайном поиске точка M_2 будет найдена, если изображающая точка системы будет заброшена из M_1 в любое место области S_2. Для этого изображающая точка должна попасть одновременно в кольцевую область Ω_1 и область Ω_2, ограниченную углом AM_1B, под к-рым область S_2 видна из точки M_1, исключая участки с двойной штриховкой. Если вероятности попадания изображающей точки в области Ω_1, Ω_2 и в участки с двойной штриховкой равны соответственно P_1, P_2 и P_3, то вероятность отыскания точки M_2 за одну попытку при случайном поиске равна $I=P_1\cdot P_2-P_3$, а при поиске по последнему алгоритму ($I=P_2$), т. е. больше, чем при случайном поиске.

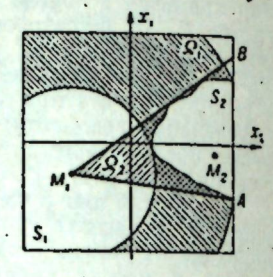


Рис. 3.

Конструктивно О. г. 2-й и 3-й групп, реализующие описанные выше алгоритмы, выполняются в виде глобальных приставок, осуществляющих логич. операции, связанные с реализацией соответствующих алгоритмов, и работающих совместно с обычными многоканальными оптимизаторами, осуществляющими собственно поиск экстремума [4].

Все описанные на примере ф-ции двух переменных методы отыскания глобального экстремума распространяются на ф-ции любого числа переменных.

Лит.: 1) Фельдбаум А. А., Автоматический оптимизатор, «АиТ», 1958, т. 19, № 8, 2) его же, Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959, с. 405; 3) Бочаров И. Н. [и др.], Многоканальные автоматические оптимизаторы 2—АО—12/5 и 3—АО—10/5, М., 1960 (Передовой научно-техн. и произв. опыт. Тема 27, № А—60—21/5); 4) Бочаров И. Н., Фельдбаум А. А., Автоматический оптимизатор для поиска минимального из нескольких минимумов (глобальный оптимизатор), «АиТ», 1962, т. 23, № 3. *И. Н. Бочаров.*

ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМА на реальном объекте (optimization system; système d'optimalisation; Optimisierungssystem) — система, позволяющая непосредств. воздействием на реальный управляемый объект находить и поддерживать значения параметров объекта, при к-рых процесс, протекающий в нем, был бы наилучшим с к.-л. точки зрения.

Рассмотрим пространство режимов работы к.-л. установки, по осям которого отложены значения величин $x_1, x_2, \ldots, x_n$, определяющих ее рабочий режим. Каждой точке этого пространства, имеющей координаты $(x_{1i}, x_{2i}, \ldots, x_{ni})$, соответствует вектор X_i. В этом пространстве может быть выделена область S, содержащая всю совокупность допустимых режимов. Если дополнить пространство режимов еще одной координатой, по к-рой мы будем откладывать показатель α, характеризующий эффективность работы установки (напр., ее производительность, качество получаемого продукта, степень использования сырья и т. п.), то над S-областью может быть построена гиперповерхность, характеризующая зависимость показателя эффективности α от режима действия установки. На рис. 1 приведено пространство режимов для случая только двух величин x_1 и x_2.

Наивыгоднейшим режимом по отношению к показателю α будет, очевидно, такой режим X^*, принадлежащий области S, к-рому соответствует макс. значение α^*. Но вид поверхности $\alpha(X)$ может, в свою очередь, зависеть от ряда неуправляемых условий работы установки $Y=(y_2, \ldots, y_m)$, к-рые могут изменяться

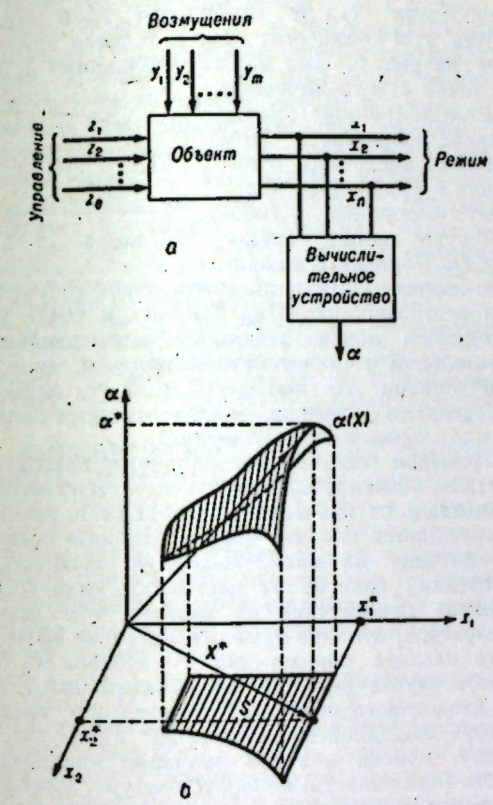


Рис. 1. Структура управляемого объекта (*а*) и поверхность, характеризующая значение показателя α в пространстве режимов установки (*б*).

в определ. пределах. Из рассмотрения совокупности поверхностей $\alpha(X, Y)$, соответствующих всем возможным значениям условий Y в пределах области S, можно вывести суждение о том, насколько изменяется эффективность α в зависимости от условий работы рассматриваемого объекта управления.

Если окажется, что можно подобрать такой режим работы X^*, при к-ром отклонения α от оптимального его значения несущественны, то задача управления будет в стабилизации этого режима и может решаться обычными методами. В противном случае возникает задача изменения режима при изменении условий работы установки.

В случаях, когда условия работы установки изменяются достаточно редко или медленно и эти изменения контролируемы, перестройка режима работы объекта управления может осуществляться вручную. Если же темп изменения условий достаточно высок или условия, вызывающие необходимость в изменении режима, не поддаются контролю, возникает необходимость в создании самонастраивающейся системы управления.

Если все условия, влияющие на выбор оптим. режима, контролируются и заранее известны зависимости, связывающие их со значениями X^*, соответствующими наивыгоднейшим значениям α, то нужный режим может автоматически устанавливаться устройствами, вычисляющими значения X^* (или Z^*) на основании информации о текущих значениях Y, получаемой от системы контроля условий работы установки (рис. 2).

Пример системы с такой структурой — САР горения пламенных печей, отапливаемых сложными смесями (рис. 3). Здесь оптим. расход окислителей устанавливается (в соответствии с контролируемыми значениями расходов всех компонентов горючей смеси, количеством теоретически необходимого объема кислорода $C_{\tau j}$ для сжигания единицы каждого из компонентов топлива, значениями расходов

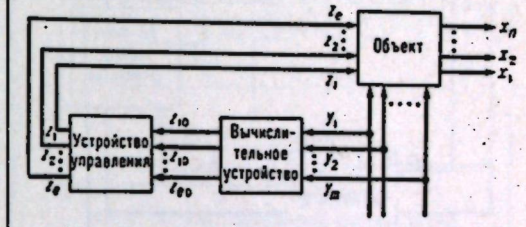


Рис. 2. Структура системы управления путем вычислений воздействий, компенсирующих возмущение.

окислителей V_{kj} и концентрацией кислорода в них C_{ki}) при помощи вычислит. устройства, определяющего значение фактич. коэфф. избытка кислорода α и воздействующего на расход $V_{k\theta}$ в направлении приближения α к его оптим. значению α^*. Сигнал φ, характеризующий отклонение избытка кислорода α от его заданного значения α^*, формируется в соответствии с зависимостью:

$$\varphi=\alpha^*\sum_{j=1}^{m}C_{\tau j}V_{\tau j}-\sum_{i=1}^{n}C_{ki}V_{ki}.$$

Однако определение и поддержание наивыгоднейшего режима возможно, как известно, и в тех случаях, когда пек-рые или даже все условия работы установки не контролируются

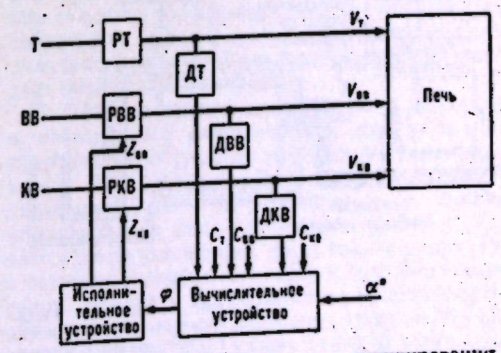


Рис. 3. Система автоматического регулирования САР горения в пламенной печи: Т — топливо; ВВ — вентиляторный воздух; КВ — кислородно-воздушная смесь; РТ—регулятор топлива; РВВ—регулятор вентиляторного воздуха; РКВ — регулятор кислородно-воздушной смеси; ДТ — датчик топлива; ДВВ — датчик вентиляторного воздуха; ДКВ — датчик кислородно-воздушной смеси.

и когда наперед неизвестны не только степени, но даже направления влияния этих условий на значение показателя эффективности режима.

Для этой цели могут быть использованы системы автоматич. поиска (рис. 4), в к-рых определение наивыгоднейшего режима осуществляется последоват. пробами различных значений компонентов путем последоват. проб различных значений компонентов управления Z и оценки режима X при помощи устройства,

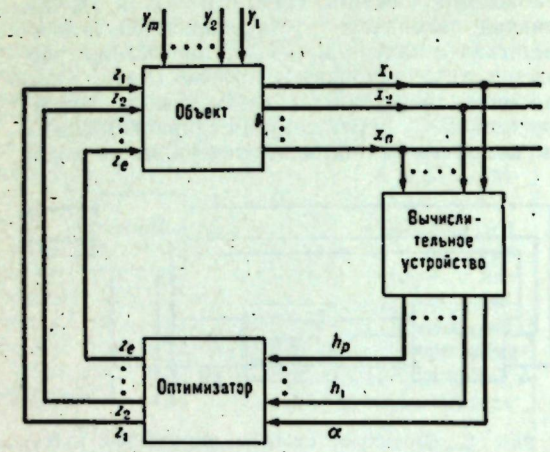


Рис. 4. Структура системы оптимизации посредством автоматического поиска.

измеряющего или вычисляющего значение показателя эффективности процесса α, и ограничений h, соответствующих имеющейся в каждый данный момент совокупности условий Y и совокупности компонентов режима X. Пример такой системы — система оптимизации горения в нагреват. печи (рис. 5, *а*). Наилучший режим горения поддерживается в ней регулятором соотношения, к-рый регулирует количество топлива и воздуха, подающихся в печь. Однако наилучшие пропорции топлива и воздуха не остаются постоянными

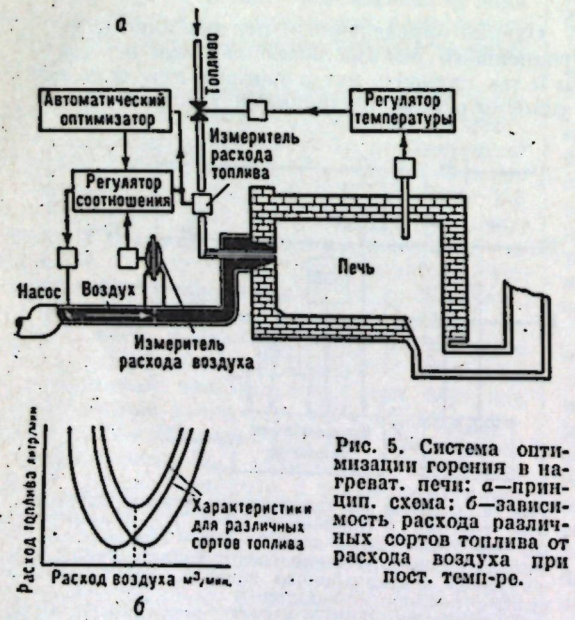
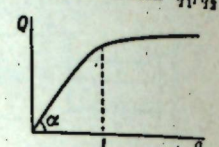


Рис. 5. Система оптимизации горения в нагреват. печи: *а*—принцип. схема; *б*—зависимость расхода различных сортов топлива от расхода воздуха при пост. темп-ре.

при изменении сорта топлива, а также условий горения в печи (рис. 5,*б*). Для нахождения и поддерживания оптим. режима в системе управления имеется автоматич. оптимизатор (АО), к-рый воздействует на задатчик регулятора соотношения и устанавливает его в положение, соответствующее минимуму расхода топлива.

Пример О. с., позволяющей находить режимы, при к-рых углы наклона касательной к статич. хар-ке объекта отличны от нулевых,— металлургич. печь, работающая на природном газе. Для увеличения теплоотдачи в такой печи сжигают смесь газа и мазута. Зависимость теплоотдачи Q от отношения количества мазута q_1 к количеству газа q_2 в смеси приведена на рис. 6. При малых отношениях q_1/q_2 (до точки 1) с увеличением q_1 в смеси Q также значительно возрастает. При больших значениях отношения q_1/q_2 довольно большому изменению q_1 соответствуют малые изменения Q. Поэтому с экономич. точки зрения целесообразно работать при соотношениях q_1/q_2, близких к точке 1. Автоматич. поиск заданного угла наклона касательной α может осуществляться, напр., при помощи АО шагового типа с перем. интервалами времени между шагами (см. *Оптимизатор автоматический*).



Примером систем, позволяющих находить экстрем. значение выходной величины объекта, зависящей от значений нескольких параметров, является автомат для подстройки радиопередатчика на макс. выходную мощность. Последняя зависит от настройки выходного контура передатчика на частоту задающего генератора, а также от величины связи выходного каскада передатчика с антенной. О. с. в этом случае включает многоканальный АО, на вход к-рого подается напряжение с индикатора выходной мощности. АО путем автоматич. поиска находит значение индуктивности (или емкости) колебат. контура, а также значение индуктивности (или емкости) связи с антенной, при к-рых выходная мощность максимальна.

При выборе метода автоматич. поиска О. с. следует учитывать действие случайных помех и наличие нелинейных зависимостей в отдельных звеньях системы (люфтов, сухого трения и др.), затрудняющих определение реакции объекта на пробное воздействие. Существ. влияние на процесс в О. с. оказывает инерционность объекта, приводящая к увеличению времени поиска и требующая для обеспечения устойчивой работы О. с. спец. настройки АО.

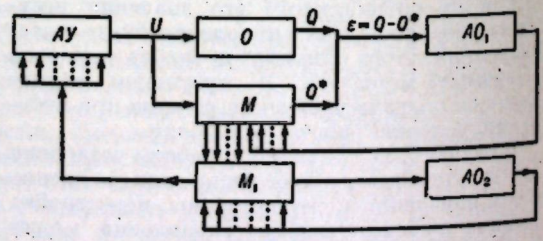


Рис. 7. Автоматич. оптимизация в убыстренном масштабе времени: U—управляющее воздействие.

Непосредств. оптимизация на реальном объекте возможна лишь в том случае, когда в процессе поиска параметры О. с., влияющие на оптимизируемую величину, существенно не изменяются. В отдельных случаях, когда указанные условия не выполняются, в О. с. следует включать управляемую модель M и

модель M_1, на к-рой производится поиск в убыстренном масштабе времени (рис. 7). Для того чтобы параметры моделей M и M_1 соответствовали изменяющимся параметрам объекта O, на входы объекта и модели M действуют одинаковые возмущения. Разность ε выходной величины объекта Q и модели Q^* подается на вход АО, к-рый минимизацией ε находит требуемое значение параметров моделей. Найденные для модели M величины передаются на другую модель M_1, к-рая работает в убыстренном масштабе времени. Поэтому на ней можно при помощи АО в быстром темпе оптимизировать процесс и после определения оптим. режима передавать его данные системе автоматич. управления объектом.

Лит.: Лернер А. Я., Применение самонастраивающихся систем автоматического управления, в кн.: Тр. I Международного Конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т.] 6, М., 1961; Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959, гл. 10, 14; его же, Системы автоматической оптимизации, «Ж. Всес. хим. о-ва им. Д. И. Менделеева», 1961, т. 6, № 5; Фицнер Л. Н., Электрические автоматические оптимизаторы, «Э-во», 1960, № 8.

А. Я. Лернер, Л. Н. Фицнер.

ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМА ДИСКРЕТНОГО ДЕЙСТВИЯ (discrete optimizing system; système d'optimalisation à action discontinue; Diskretwirkendes Optimisierungssystem) — система автоматической оптимизации (САО) при наличии квантования по времени и по уровню, в к-рой в качестве УУ используется дискретный многоканальный *оптимизатор автоматический*.

В САО в ряде случаев оптимизируемая величина Q и ограничения H_j ($j=1,\ldots, m$) или нек-рые из них являются функционалами от переменных $x_1,\ldots,x_n$ или, вообще, в системах имеются инерционности. Значения Q и H_j в этом случае могут быть измерены только в дискретные моменты времени. Если, напр., оптимизируемая величина — время переходного процесса в объекте управления, то ее измерение возможно только после окончания переходного процесса, вызванного подачей пробного или рабочего воздействия на вход объекта. Т. о., величины в такой САО квантуются по времени. Само чередование пробного и рабочего движений даже при работе с объектами, в к-рых оптимизируемая величина и ограничения являются мгнов. ф-циями изменяющихся во времени переменных, вызывает квантование по времени. Процесс приобретает дискретный во времени характер. В таких системах используются оптимизаторы шагового типа. При отсутствии дискретности по уровню, т. е. когда при сколь угодно малом изменении переменной x_i($i=1,\ldots,n$) изменение оптимизируемой величины Q также может быть сколь угодно малым, получается САО дискретно-непрерывного (или шагового) действия, а при наличии квантования по времени и по уровню — О. с. д. д.

Осн. показатели качества САО — время переходного процесса поиска и погрешность в установившемся режиме. Они зависят от сложности оптимизируемой ф-ции (числа переменных, типа экстремума, инерционности объекта) и характера ограничений, от случайных помех, действующих во время поиска, от быстродействия, точности, стабильности и надежности блоков, входящих в САО, а также от метода поиска.

Существ. влияние на показатели качества оказывают случайные помехи, действующие в системе. Можно считать, что на САО действуют помехи трех типов: 1) заранее неизвестный дрейф хар-к объекта, из-за к-рого, собственно, и приходится применять автоматич. поиск. Он может быть условно изображен случайной величиной Z_{0i}($i=1,\ldots,n$) (рис.), прилож. к входу объекта; 2) относительно ВЧ шум Z_2 на выходе объекта. Это, в сущности,

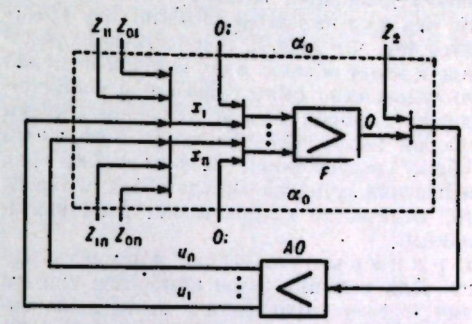


Схема системы автоматич. оптимизации.

внутр. шумы объекта, преобразующих и измерит. устройств на его выходе; 3) шумы внутри оптимизатора AO и в преобразующих и исполнит. устройствах между выходами AO и входами объекта. Эти шумы Z_{1i} ($i=1,\ldots,n$) условно могут быть приложены к входам объекта.

В [2] были исследованы показатели поиска САО, работающей по методу градиента, при наличии шума на выходе объекта с кусочно-линейной хар-кой, в [3—4] — для объекта с параболич. хар-кой. Исследование показателей поиска для объектов с квадратичной хар-кой при наличии шума на выходе объекта и медленного дрейфа (при различных предположениях о его характере) на его входах проведено в [1,5, 6]. Шум на выходе объекта оказывает влияние на время поиска и на погрешность установившегося состояния, но не влияет на сходимость процесса. Наличие медленного дрейфа хар-к объекта для получения сходящегося процесса поиска требует уже соблюдения определ. условий. Эти результаты получены при пренебрежении шумами на входах объекта управления.

В САО дискретно-непрерывного действия в качестве УУ используются дискретно-непрерывные (гибридные) многоканальные автоматич. оптимизаторы. Погрешности в работе отдельных блоков и оптимизатора в целом, появляющиеся из-за случайного дрейфа нулевого уровня усилителей пост. тока и разрядки с течением времени запоминающих конденсаторов, наряду с погрешностями работы преобразовательных и исполнит. устройств на входах объекта составляют помеху 3-го типа. Практически она оказывает наибольшее влияние на показатели качества системы и на сходимость процесса поиска. При теоретическом же рассмотрении даже в случае простейшей экстрем. системы с одним переменным шум на входе объекта приводит к описанию процесса ур-ниями со случайными коэфф. [7].

Существ. уменьшения шумов на входах объекта можно достигнуть в О. с. д. д. [8]. В ней в качестве УУ используется дискретный многоканальный автоматич. оптимизатор. В этом случае исключаются составляющие шума на входах объекта, вызываемые нестабильностью хар-к блоков оптимизатора. В [8]

проведено исследование показателей О. с. д. д., осуществляющей поиск по методу градиента при наличии медленного дрейфа хар-к объекта. Даже при пренебрежении погрешностями в преобразующих и исполнит. устройствах на входах объекта (правомерном только в случае поиска на цифровой модели) шум на входе объекта, проявляющийся только во время рабочих движений, оказывается более опасным, чем шум на выходе объекта. Это объясняется тем, что первый приложен непосредственно к входу объекта и его влияние не может быть уменьшено фильтрацией или соответствующим выбором коэфф. усиления системы (выбором коэфф. рабочих шагов и величины пробных воздействий), используемыми для уменьшения шума на выходе объекта. Кроме того, количество входов может быть значительным.

Примеры реализации вышеуказ. систем. Для решения задач автоматич. синтеза оптим. систем управления и нахождения оптим. протекания процессов используются САО дискретно-непрерывного действия [9]. Описаны также О. с. д. д. с применением дискретного оптимизатора Орсон (см. *Оптимизатор автоматический*), используемые для управления процессами в химич. и нефтяной пром-сти. В нек-рых О. с. д. д. в качестве оптимизаторов используются соответствующим образом запрограммированные ЦВМ [10, 12].

Лит.: 1) Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; 2) его же, Вопросы статистической теории систем автоматической оптимизации, в кн.: Труды I Международного Конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т. 2], М., 1961; 3) Товстуха Т. И., Влияние случайных помех на установившийся режим работы экстремальной системы шагового типа при параболической характеристике объекта, «АиТ», 1960, т. 21, № 5; 4) Первозванский А. А., О времени поиска в дискретных системах экстремального регулирования, «ИАН СССР. ОТН. Энергетика и автоматика», 1960, № 5; 5) Товстуха Т. И., К вопросу о выборе параметров управляющей части градиентной системы автоматической оптимизации, «АиТ», 1961, т. 22, № 8; 6) Chang S. S. L., Optimization of the adaptive function by Z — Transform method, «Applic. and Ind.», 1960, № 49, p. 223—31; 7) Баранова В. С., Первозванский А. А., Параметрические явления в простейшей непрерывной системе экстремального регулирования, «АиТ», 1960, т. 21, № 9; 8) Паулаускас Ц. Ц., Исследование градиентной системы автоматической оптимизации при наличии случайных помех на входе и выходе объекта, там же, 1962, т. 23, № 1; 9) Стаховский Р. И., Фицнер Л. Н., Шубин А. Б., Автоматические оптимизаторы и их применение для решения вариационных задач и автоматического синтеза, в кн.: Труды I Международного Конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т. 4], М., 1961; 10) Lesemann K. J., Optimalwertregelung eines Sinterprozesses mit Hilfe eines Ziffernrechenautomaten, «Regelungstechnik», 1961, Bd 9, № 1, S. 17; 11) Williams G. M. E., Self-adaptive control systems in practice, «Process Control and Automation», 1962, v. 9, № 6.

Ц. Ц. Паулаускас.

ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМА НА МОДЕЛИ (model system optimization; système d'optimalisation sur modèles; Optimisierungssystem auf Analogrechenanlage) — автоматич. подбор управляющих воздействий на модели управляемой системы с целью получения экстремума критерия качества с последующим перенесением подобранных управляющих воздействий на управляемую систему.

При оптимизации режима работы объекта с помощью самонастраивающейся системы возникает необходимость в пробных воздействиях. Но они не всегда допустимы для реальных объектов и могут потребовать слишком много времени, в течение к-рого хар-ки объекта настолько изменятся, что оптимизация окажется неэффективной. Поэтому в ряде случаев может оказаться целесообразной оптимизация режима на модели объекта, проводимая в быстром темпе. Оптим. управляющие воздействия, найденные на модели, переносятся на реальный управляемый объект. При этом, однако, хар-ки модели и объекта со временем могут разойтись, если хар-ки объекта меняются заранее непредвиденным образом. Здесь оказывается полезным использовать автоматич. оптимизатор, который подстраивает хар-ки модели так, чтобы они были близки к хар-кам реального объекта [1].

В др. случаях быстродействующую модель можно использовать для решения в быстром темпе ур-ний оптим. процесса для данного реального объекта. Используя быстродействующую модель объекта, можно, напр., при разных нач. условиях решать краевую задачу для ур-ний оптим. процесса, как, напр., в задаче о макс. быстродействии [2].

Лит.: 1) Фельдбаум А. А., Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959; 2) Eckman D. P., Lefkowitz I., Optimizing control of a chemical process, «Control Engng», 1957, v. 4, № 9, p. 197—204.

А. Г. Бутковский.

ОПТИМИЗАЦИИ СИСТЕМА НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ (continuous-action optimization system; système d'optimalisation à action continue; kontinuierlich wirkendes Optimisierungssystem) — система, в к-рой осуществляется поиск экстремума ф-ции одного или нескольких переменных и отличающаяся тем, что пробное движение переменных производится непрерывно. Проведение пробных движений в любых системах оптимизации обусловлено тем, что значение ф-ции в одной точке не дает сведений о направлении движения, необходимом для достижения экстремума. Лишь сравнивая направление пробного движения с соответствующим приращением экстремизируемой ф-ции, можно определить движение к экстремуму.

Рассмотрим для примера минимизацию ф-ции. В простейшем случае минимизируемая ф-ция Q зависит от одного переменного x и имеет хар-ку, изображ. на рис. 1, *а*. Пусть в первый момент $x=x_0$. Требуется так изменить x, чтобы Q стало минимальным. Алгоритм работы О. с. н. д. (или непрерывного оптимизатора НО) может быть следующим. В нач. момент исполнит. механизм (*ИМ*, рис. 1, *б*), выходной величиной к-рого является x, включается в произвольном направлении и происходит, напр., уменьшение x. Допустим, что при этом Q на выходе объекта начинает увеличиваться. Дифференциатор $Д$ определяет производную минимизируемой величины $\frac{dQ}{dt}$. Если при данном направлении изменения x производная положительна, то положит. сигнал от $Д$ через усилитель $У$ поступает на вход триггерного элемента $Т$, к-рый перебрасывается в противоположное положение и изменяет знак управляющего воздействия U. Это приводит к реверсированию *ИМ* в точке *2* хар-ки. При дальнейшем движении x, происходящем в положит. направлении, до точки *3* Q будет уменьшаться, и производная на выходе $Д$ будет отрицательна. Отрицат. напряжение на выходе $Д$ не перебрасывает триггер, поэтому движение будет происходить непрерывно. В точке *3* производная изменит знак, и управление будет реверсировано. В точке *4* произойдет аналогичный реверс *ИМ*. Т. о., x будет колебаться около точки экстремума $x_э$. При данном алгоритме поиска пробное и рабочее движение фактически совмещено. Преимущество такого НО — простота, недостаток — частый

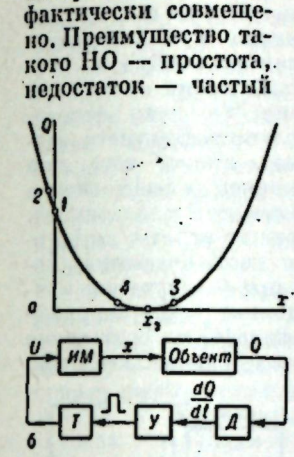


Рис. 1.

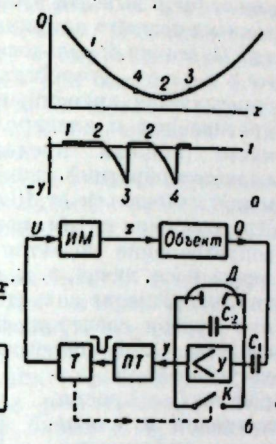


Рис. 2.

реверс *ИМ*; кроме того, в случае инерц. объекта в связи с наличием случайных помех такая схема может работать неустойчиво.

Широко распространены НО, работающие по схеме с запоминанием экстремума. В этом случае к.-л. пиковая схема при изменении x запоминает наименьшее значение минимизируемой ф-ции. Когда текущее значение Q будет больше запоминаемого на какую-то величину Δ, срабатывает устройство, реверсирующее *ИМ*. На рис. 2,*б* дан электронный вариант такой схемы. Допустим, что в точке *1* (рис. 2, *а*) *ИМ* включен на увеличение x. Величина Q с объекта поступает через емкость C_1 на вход усилителя $У$. При движении от точки *1* до точки *2* величина Q уменьшается, и на выходе $У$ образуется небольшое положит. напряжение, к-рое через диод $Д$ поступает на вход, компенсируя зарядный ток емкости C_1. В точке *2* величина Q начнет увеличиваться, зарядный ток C_1 изменит знак, на выходе $У$ появится отриц. напряжение, и диод $Д$ запрется. При дальнейшем увеличении Q на выходе $У$ растет отрицат. напряжение, к-рое в точке *3* достигнет потенциала срабатывания потенциального триггера *ПТ*, он сработает, перебросит триггер $Т$ и изменит направление движения *ИМ*. При срабатывании $Т$ замыкается на короткое время ключ $К$, к-рый сбрасывает напряжение на выходе $У$ до нуля. В точке *4* таким же образом произойдет реверс *ИМ*. Колебания около точки экстремума зависят от выбранного порога срабатывания *ПТ*.

Гл. преимущество О. с. н. д. в том, что пробное воздействие производится непрерывно и непрерывно определяется знак частной производной или направление движения к экстремуму. В этом случае система быстро реагирует на смещение экстремума. Кроме того, имеется возможность производить усреднение сигнала, определяющего направление движения к экстремуму. Этим достигается помехоустойчивость О. с. н. д. В подобных системах пробное и рабочее движения разделены.

Рассмотрим работу одного типа такой системы (рис. 3). На вход объекта, помимо сигнала от *ИМ*, подаются гармонич. колебания небольшой амплитуды $a \sin \omega t$ от спец. генератора $Г$. Эти колебания и являются пробным движением в системе. Они вызывают колебания такой же частоты на выходе объекта Q. Как видно из рис. 3, *а*, если x находится справа от экстремума, то сдвига фаз между колебаниями x и Q нет. Если же x находится слева от экстремума, то сдвиг фаз составляет 180°. Поэтому направление движения к экстремуму можно определять по сдвигу фаз. Сдвиг фаз выделяется так: величина Q поступает на фильтр $Ф$, задачей которого является как можно лучше выделить гармонику частоты ω и не пропустить пост. составляющую Q. Отфильтров. колебания Q и колебания от генератора перемножаются на *МЗ*. Если x лежит справа от экстремума, на выходе *МЗ* образуется положит. напряжение $u = a \sin \omega t \cdot b \sin \omega t = c \sin^2 \omega t$. Если x лежит слева от экстремума, $u = a \sin \omega t \cdot b \sin(\omega t - 180°) = -c \sin^2 \omega t$. *ИМ* должен быть включен т. о., чтобы при положит. u уменьшался x_0, а при отрицательном — увеличивался. Когда объект или фильтр имеют инерционность, вызывающую сдвиг фазы колебаний, необходимо компенсировать его, сдвигая на такую же фазу колебания, поступающие на *МЗ* с генератора. Подобная схема НО обладает хорошей помехоустойчивостью, т. к. помехи на выходе объекта, имеющие частоту, отличную от ω, не влияют существенно на скорость движения к экстремуму. Такой способ пригоден и в случае нескольких переменных. Если входы объекта подвержены случайным колебаниям, то можно находить экстремум, используя эти колебания. Исследование динамики непрерывных систем, а также качества процесса оптимизации в ряде практически важных систем рассмотрены в [1].

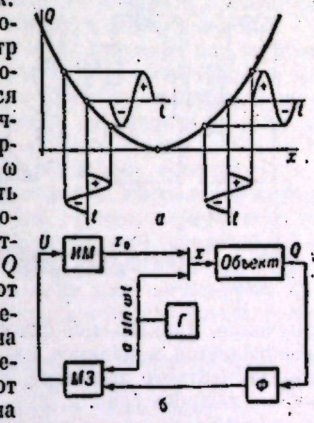


Рис. 3.

Лит.: 1) Красовский А. А., Поспелов Г. С., Основы автоматики и технической кибернетики, М.—Л., 1962; 2) Фицнер Л. Н., Торгашин А. В., Автоматический оптимизатор 1А01—2, М., 1960.

А. Б. Шубин.

ОПТРОН (optron; optron; Optron) — усилитель или преобразователь световых сигналов в виде комбинации *фотосопротивления* и *электролюминесцентного элемента*. Связь между обеими компонентами О. может быть оптич., электрич. либо смешанной. При чисто оптич. связи схема наиболее проста. Свет, излучаемый электролюминесцентным элементом $Э$ под действием внешнего напряжения U, падает на поверхность фотосопротивления $Ф$ (рис. 1, *а*), что создает изменение тока I в цепи последнего (рис. 1, *б*); коэфф. усиления по мощности достигает 70 000. Используя монокристаллич. слой электролюминофора, эту схему можно было бы применить для усиления пост. напряжений (современные электролюминесцентные элементы из порошкообразных

электролюминофоров могут светиться лишь при возбуждении перем. напряжением).

При последоват. соединении фотосопротивления и электролюминесцентного элемента (моностабильный О.) можно получить простейший усилитель (если спектральные хар-ки обеих компонент О. одинаковы) или преобразователь света (когда невидимое—рентгеновское, ультрафиолетовое или инфракрасное — излучение, принимаемое фотосопротивлением, преобразуется в видимое излучение электролюминесцентного элемента). Коэфф. усиления такого оптрона (рис. 2, *а*) — сложная ф-ция величины входного сигнала, величины и частоты внешнего напряжения, а также свойств фотосопротивления и электролюминофора.

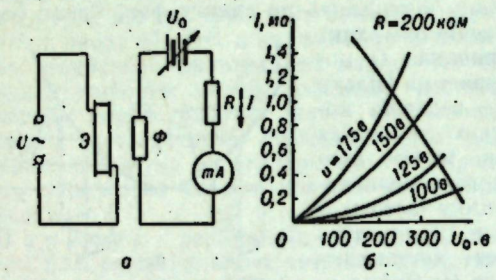


Рис. 1. Оптрон с оптич. связью: *а* — схема; *б* — хар-ка.

Если проводимость G_L фотосопротивления зависит от входной освещенности L по закону $G_L=G_0L^n$, а яркость свечения B электролюминесцентного элемента является ф-цией величины U_{EL} и частоты ω напряжения на этом элементе: $B=B_0\omega^aU_{EL}^b$ (a, b и n — пост.), то для случая стационарного режима работы моностабильного оптрона:

$$B=B_m\frac{G_L^b}{[G_L^2+(C\omega)^2]^{b/2}}$$

(C — емкость электролюминесцентного элемента). Соответствующая зависимость B от L (рис. 2,*б*) близка по виду к экспериментальным результатам.



Рис. 2. Моностабильный оптрон: *а* — схема; *б* — зависимость выходной яркости от освещенности на входе; *1* — входной световой сигнал; *2* — выходной световой сигнал.

Интересно одновременное сочетание оптич. и электрич. связи между компонентами О., т. к. в этом случае можно (за счет положит. оптич. обратной связи) получить бистабильную хар-ку. Входной световой сигнал (рис. 3), падающий на фотосопротивление Φ, приводит к увеличению напряжения на электролюминесцентном элементе $Э$, у к-рого вследствие этого увеличивается интенсивность эмиссии. При напряжениях внешнего источника U, превышающих нек-рую критич. величину, кратковременный входной световой сигнал переводит О. в режим пост. излучения, из к-рого он может быть выведен уменьшением или выключением внешнего напряжения. Т. о. бистабильный О. можно использовать в качестве т р и г г е р н о г о устройства; время задержки определяется временными хар-ками фотосопротивления и электролюминесцентного элемента (нижний предел), кроме того, оно является обратной функцией освещенности и может изменяться от 10 сек. до 2 миллисекунд. Для создания оптим. режима работы на фотосопротивление подается пост. подсветка (порядка неск. люкс), т. к. при ее отсутствии критич. напряжение значительно выше напряжения пробоя электролюминофора. Триггерные свойства О. используются в переключающих устройствах, в устройствах приема, хранения и считывания информации, представляющих собой цепочки из различных комбинаций О. (последоват. и паралл. включения с положит. оптич. обратной связью и без нее). Напр., в схеме рис. 4 электролюминесцентный элемент $Э$ открыт (т. е. излучает) при правом положении переключателя $П$ ($Э_1$ излучает, уменьшая напряжение на Φ_1, т. е. увеличивая напряжение на $Э$) и закрыт при др. положении $П$ (излучает $Э_2$, уменьшая напряжение на параллельно соединенных Φ_2 и $Э$). Усилительные свойства О. легли в основу конструктивно более сложных усилителей света и изображений, а также устройств для световой сигнализации и хранения световой информации.

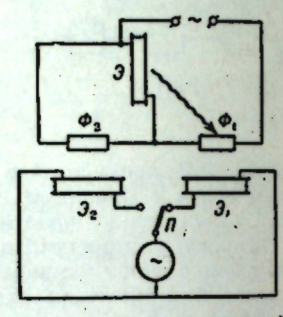


Рис. 4. Схема оптронової накопительной цепочки.

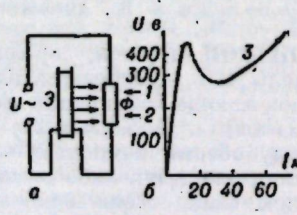


Рис. 3. Бистабильный оптрон: *а* — схема; *б* — вольтамперная хар-ка при подсветке 3 люкса; *1* — входной сигнал; *2* — подсветка; *3* — режим самоизлучения.

Лит.: H e n i s c h H. K., Electroluminescence, Oxf. [a. o.], 1962; L o ë b n e r E. E., «Proc. I. R. E.», 1955, v. 43, № 12, p. 1897; N i c o l l F. H., «RCA Rev.», 1959, v. 20, № 4, p. 658. *М. М. Горшков.*

ОРГАН СРАВНЕНИЯ (comparator device; organe comparateur; Vergleichsorgan) — см. *Сравнивающее устройство.*

ОРГАН УПРАВЛЕНИЯ (controlling device; organe de commande; Steuerorgan) — см. *Управляющее устройство.*

ОРГАНИЗАЦИЯ ПРОГРАММЫ (programme organization; organisation de programme; Programmorganisation) — порядок работы крупных функционально различных между собой частей программы, определяемый обычно перед непосредственным ее составлением. О. п. записывается иногда в виде укрупненной операторной схемы (см. *Логическая схема программы*), в к-рой отражаются: ввод программы (V), выполнение рабочего счета (R), выдача результатов (W), порядок выполнения двойных просчетов и контрольного суммирования результатов рабочего счета (Σ). Напр., можно описать О. п., построенной без контрольного суммирования с помощью схемы: $VRW\text{Я}$.

О. п., в к-рой предусмотрен контроль правильности вычислений с помощью двойного-тройного счета, может быть представлена

с помощью схемы:

$$VR\sum_1 E(R)\sum_2 P(\sigma_1;\sigma_2)\overset{1}{\urcorner}E(R)\sum_3 P(\sigma_3;\sigma_1)\overset{1}{\urcorner}$$
$$P(\sigma_3;\sigma_2)\underset{2\,1}{\llcorner\!\lrcorner}W\underset{2}{\llcorner}\text{Я}.$$

Здесь $E(R)$ означает переход к повторному счету; $P(\sigma_i;\sigma_j)$ — сравнение сумм, найденных с помощью операторов суммирования результатов Σ_i и Σ_j, причем при совпадении сумм переход осуществляется по верхнему индексу знака перехода, а при несовпадении — по нижнему; Я — останов.

В О. п. для сравнительно простых задач зачастую отражается более подробно работа блоков программы. Тогда схема О. п. приближается к логич. схеме.

Особо важное значение имеет О. п. для сложных программ, в к-рых каждый из блоков представляет собой большую программу, связанную с остальными блоками только с помощью необходимых для ее работы исходных данных и получаемых результатов. В этих случаях различные блоки составляются обычно разными лицами. При этом заранее продуманная О. п. обеспечивает координацию всей работы. На разработку О. п. зачастую уходит бо́льшая часть времени, затрачиваемого на составление всей сложной программы. Примерами таких сложных программ могут служить: *программирующая программа*, программа, компилирующая программы из стандартных подпрограмм, программа *машинного перевода*, информац. системы и др.

П р и м е р. Пусть имеется нек-рый набор СП: R_1; R_2; ...; R_k таких, что любая задача из нек-рого класса задач может быть решена с помощью этих подпрограмм. Для выполнения каждой из СП используется группа кодов, в к-рой указываются исходные данные для работы подпрограммы, ее номер и те адреса, куда помещаются результаты. Программа решения задачи составляется в виде последовательности таких групп кодов.

Универс. интерпретирующая программа, использующая в качестве входной информации такую программу решения задачи и управляющая порядком работы подпрограмм, может иметь О. п., представляемую в виде схемы:

$$\underset{2}{\llcorner}\Pi_1\Phi_1(\Pi_2)\Phi_2(E(R_i))\Phi_3(\Pi_3)\Pi_2E(R_i)\Pi_3$$
$$P(i=n)\overset{1}{\urcorner}M(j+1)\underset{2\,1}{\llcorner\!\lrcorner}\text{Я}.$$

Здесь Π_1 выделяет для анализа j-ую группу кодов из последовательности групп кодов, составленной для решения задачи:

$$\Phi_1(\Pi_2),\quad \Phi_2(E(R_i)),\quad \Phi_3(\Pi_3)$$

на основании информации, полученной в результате работы Π_1, формируют Π_2, $E(R_i)$, Π_3; Π_2 переносит исходные данные в стандартные ячейки исходных данных для подпрограмм; $E(R_i)$ реализует обращение к СП; Π_3 переносит результаты подпрограммы из рабочих ячеек в нужные места; $P(j=n)$ выполняет проверку на последнюю группу кодов в последовательности групп кодов. Если $j=n$, то производится переход согласно верхнему индексу знака перехода; $M(j+1)$ производит увеличение j на единицу; Я — останов.

Г. А. Миронов.

ОРГАНИЗАЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ (organization of industrial management; organisation de gestion industrielle; Organisierung der Betriebsführung und Betriebswirtschaft) — синтез оптимальных структур управления предприятием или их объединением и обеспечение эффективного их функционирования. Производственная структура определяет подразделение пр-тия на основные, вспомогательные и обслуживающие цехи, участки. Структура управления определяет состав, взаимосвязь и подчиненность работников управленческого аппарата пр-тия. Обе эти категории структур взаимосвязаны.

Выбор тех или иных структур для конкретного пр-тия определяется масштабами и темпами произ-ва, разнообразием оборудования и технологий, степенью серийности и рядом др. факторов, определяющих объемы потоков информации, циркулирующих одновременно с материальными потоками. Управление пр-тием представляет собой процесс переработки информации, результатом чего является выработка управляющих воздействий на отдельные участки произ-ва для достижения наилучших в данных условиях технико-экономич. показателей.

Чем выше масштабы производства, чаще заменяются объекты произ-ва, чем разнообразнее оборудование и технологии, тем больший поток информации подлежит переработке. В силу физич. ограниченности человека переработка информации подразделена между отдельными коллективами людей, имеющих определенные функциональные назначения и находящихся в определенной взаимосвязи друг с другом. Характер этой взаимосвязи и функциональные назначения определяют структуру управления пр-тием. На эту структуру влияет также специализация людей, подготовленных к переработке лишь отдельных видов информаций, напр. технологич. по видам технологий, экономич. и т. п.

Выбор производственной структуры, помимо объема и спецификации потоков информации, определяется также особенностями ее получения, напр. пространственным размещением технологич. агрегатов. Специфика информации, связанная с отдельными видами технологий, определяет в ряде случаев подразделение пр-тия на цехи по технологич. принципу, напр. мартеновский, конверторный, доменный, цехи металлургич. завода; токарный, литейный цехи машиностроительного з-да. Чрезмерно большие потоки информации, а также трудности ее сбора заставляют иногда подразделять цехи с однородной технологией на более мелкие — неск. мартеновских цехов на металлургич. заводе, неск. токарных цехов на машиностроительном и т. п. В небольших пр-тиях со сравнительно малыми объемами перерабатываемой информации практикуется укрупнение цехов или даже полный отказ от цеховой структуры. Т. о., определяющим моментом при выборе структур является оценка объема потоков информации и ее специфики, а также оценка информационной пропускной способности человека и людских коллективов, являющаяся одним из предметов изучения *системы «человек — автомат»*.

Очевидно, что при чрезмерном увеличении плотности информации на отдельного индивида качество управления снижается, что ведет к ухудшению технико-экономич. показателей

пр-тия. При излишнем снижении этой плотности увеличивается численность административно-технич. персонала, что также снижает технэкономич. показатели. Информационный подход к О. у. п. позволяет находить такие структуры, при к-рых эти показатели наилучшие.

Совершенствование технологий и технич. вооруженности пр-тий непосредственно влияет на структуру управления. Хотя внедрение более совершенной технологии с ее повышенными требованиями к качеству управления и увеличивает общий поток информации, но сопутствующая этому автоматизация управления, создавая замкнутые потоки внутренней информации в контурах управления, уменьшает поток внешней информации, циркулирующий между участками произ-ва. Напр., внедрение высокоскоростной непрерывной технологии прокатки металла, невозможное без автоматич. согласования скоростей клетей, существенно уменьшает потоки внешней информации по сравнению с технологией прокатки металла в раздельных клетях. Внедрение автоматич. поточных линий, где согласование материальных потоков по фазам обработки осуществляется автоматически, также существенно сокращает поток внешней информации за счет образования внутр. замкнутых потоков, используемых для достижения автоматизма работы линии. Внедрение систем автоматич. контроля, обеспечивающих автоматич. сбор информации и ее частичную переработку, также значительно влияет на структуру управления предприятием.

При существующих еще ручных методах сбора и переработки информации наиболее распространенной является трехступенчатая иерархич. структура управления пр-тием: мастер участка — начальник цеха — директор пр-тия.

В подчинении мастера участка находятся сменные мастера и сменный производств. персонал.

Механизация и автоматизация производств. операций, наряду с внедрением систем автоматич. контроля, сокращают производств. персонал, позволяют в ряде случаев увеличить участок, обслуживаемый мастером. Автоматизация оперативного управления, обеспечивающего согласование режимов работ отдельных технологич. агрегатов и производств. участков, позволяет отказаться от сменных мастеров, а функции начальника смены свести к контролю за работой оборудования.

Вычислительная техника уже сейчас позволяет автоматически разрабатывать программы-графики для участков произ-ва, суточные и месячные задания, вести учет продукции и расчет технэкономич. показателей отдельных участков и всего цеха. Все эти функции обычно выполняются производственно-диспетчерским и планово-экономич. бюро цеха. *Автоматизация управленческих работ* позволит передать функции этих бюро цеховым вычислительным центрам, что обеспечит выработку программ-графиков и заданий, наилучшим образом учитывающим ресурсы цеха, и следовательно, обеспечивающих наилучшие технэкономич. показатели его работы.

Для небольших пр-тий или пр-тий серийной продукции с небольшими объемами потоков информации выработку программ-графиков и заданий для цеха может выполнять заводский вычислительный центр, позволяющий автоматизировать управленческие работы во мн. отделах заводоуправления.

В современной структуре основными функциями заводоуправления являются: подготовка произ-ва, управление им, материально-техническое снабжение, обеспечение кадрами.

Функцию подготовки произ-ва выполняют либо технич. отдел, либо отделы главного конструктора и главного технолога (для машиностроительных пр-тий), разрабатывающие конструкции изделий и выпускающие необходимую технич. документацию, в том числе технологич. карты по каждой детали данного изделия. В металлургич. и химич. произ-вах подготовка произ-ва сводится лишь к выбору технологий и определению расхода материалов. Задача автоматизации управленч. работ в сфере подготовки произ-ва ныне только ставится, но уже разработаны формализованные методы синтеза, позволяющие машинизировать нек-рые процессы разработок. Для сравнительно простых изделий разработка сводится к выбору по определенным алгоритмам оптимальной совокупности унифицированных деталей и узлов, обеспечивающих заданный алгоритм функционирования изделия. Разработка технологий также представляет собой процесс выбора из известных технологий их определенной совокупности, обеспечивающей требуемые критерии качества продукции. Для пр-тия серийной продукции можно иметь набор технич. документаций и технологий для каждого вида изделий; в этом случае подготовка произ-ва сводится к простому выбору.

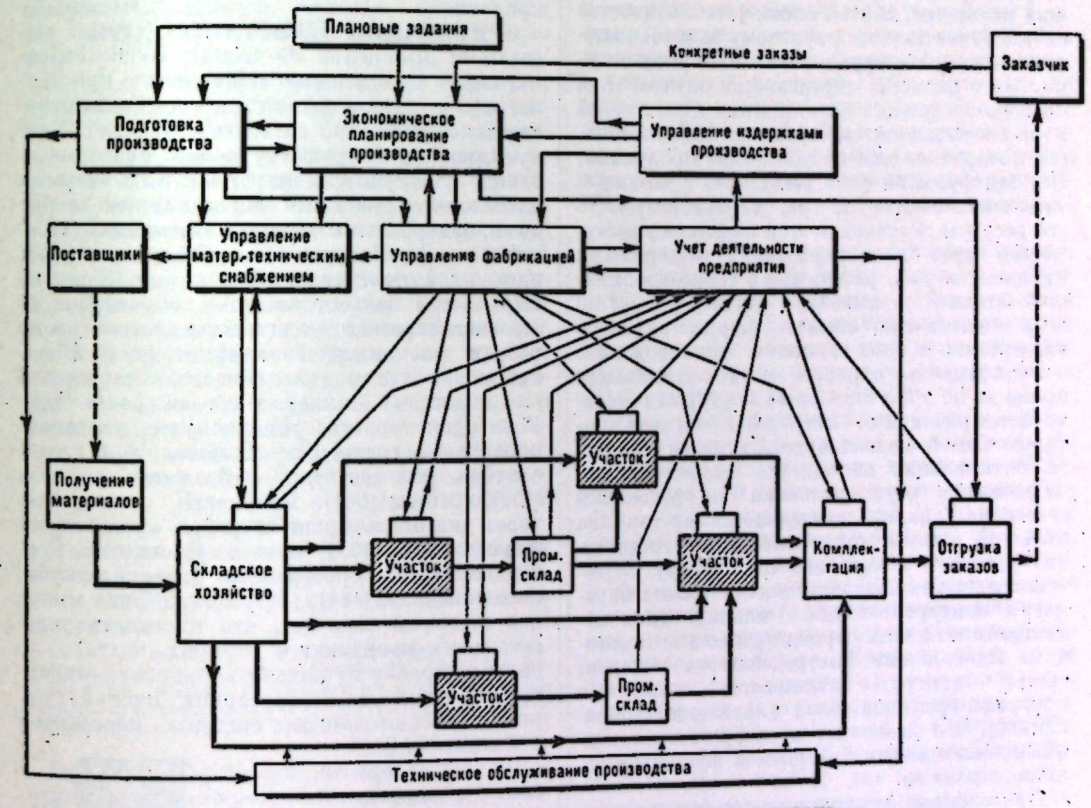
Функции управления произ-вом выполняются планово-экономич. и производственно-диспетчерским отделами и автоматизация этих функций достигается применением соответствующим образом запрограммированных ЭВМ. Автоматизация функций отдела технич. контроля не представляет сложности при наличии в цехах автоматич. датчиков контроля качества, т. к. эти функции сводятся лишь к учету и статистич. обработке, на основании к-рой выявляются причины брака, устраняемые изменением режимов работы технологич. оборудования.

Весьма важной задачей является автоматизация функций материально-технич. снабжения. Сюда входит учет материалов на складах и динамики их движения в произ-ве, определение величин оптимальных запасов в соответствии с возможностями их пополнения и своевременное определение ожидаемой потребности в материалах. Наиболее просто учет наличных материалов осуществляется в химич. и нефтехимич. произ-вах, где основная масса материалов является жидкостями, хранимыми в резервуарах. Датчики уровня или веса позволяют строить системы автоматич. контроля, осуществляющего непрерывный учет таких материалов. Значительно сложнее учет сыпучих материалов, хранящихся на открытых складах. При учете, основанном на непрерывном измерении поступающих и забираемых материалов, возможно появление значительных накапливающихся ошибок из-за погрешностей измерения. В машиностроении учет материалов затрудняется их большим разнообразием при значительных их количествах, что требует большой емкости ЗУ ЦВМ.

Наиболее легко автоматизируются функции бухгалтерии, что позволяет уже сейчас централизовать все расчеты расходования материалов и заработной платы.

Широкая автоматизация управленч. работ позволяет по-новому строить структуру управления пр-тием, максимально ее централизуя. Степень централизации в основном будет ограничиваться надежностью и быстродействием вычислительных машин. Объективность принимаемых машинами решений позволит отказаться от многоступенчатых систем контроля и ответственности и строить системы управления по функциональным признакам.

На рис. приведена возможная функциональная схема управления небольшим пр-тием,



Функциональная схема управления пром. предприятием.

состоящим из ряда технологич. участков, связанных между собой материальными потоками (жирные линии на схеме). Программы-графики изменения количественных и качественных показателей этих потоков вырабатываются функциональным блоком управления фабрикацией в соответствии с конкретными заданиями, поступающими из функционального блока экономич. планирования. В блоке управления фабрикацией на вычислительной машине набрана модель всего произ-ва как совокупность хар-к технологич. агрегатов и связей между ними. В программу этой машины из блока подготовки произ-ва вводится алгоритм функционирования произ-ва при изготовлении данной продукции как совокупность технологич. режимов и требований к качеству продукции по фазам обработки. По заранее заданному алгоритму оптимизации вычислительная машина отыскивает такие программы-графики распределения во времени материальных потоков между участками произ-ва, при к-рых достигается макс. выпуск продукции. Эти программы-графики передаются для реализации автоматич. или полуавтоматич. устройствами всех участков произ-ва. Т. к. модель произ-ва может не полностью соответствовать реальности, то между выработанным программой-графиком и реальным ходом произ-ва возникнут расхождения. Эти расхождения, обнаруженные блоком учета деятельности пр-тия, подаются в блок управления фабрикацией, где используются для уточнения модели, позволяя вырабатывать уточненные программы-графики.

Блок учета деятельности предприятия, помимо информации, необходимой для согласования материальных потоков, перерабатывает всю информацию, требуемую для определения технэкономич. показателей производств. процесса. Эти показатели передаются в блок управления издержками произ-ва, где на основании их анализа формируется критерий, к-рому должны отвечать вырабатываемые блоком управления фабрикаций программы-графики. В соответствии с этим критерием блоком вырабатываются новые программы-графики, уточняемые в ходе их реализации. Анализируя получаемые результаты, блок управления издержками формирует критерий блоку подготовки произ-ва, уточняет технологич. режимы, видоизменяя тем самым программы-графики, вырабатываемые блоком управления фабрикацией.

Блок подготовки произ-ва, вырабатывая алгоритмы функционирования на разные виды продукции в соответствии с плановыми заданиями, определяет также потребные материалы и полуфабрикаты, передавая эти данные блоку управления материально-технич. снабжением.

задачей к-рого является материальное обеспечение произ-ва в сроки, определенные блоком экономич. планирования.

Блок подготовки произ-ва на основании существующих нормативов планирует также ремонты оборудования, вырабатывая алгоритмы функционирования произ-ва на периоды ремонта (а также выходов оборудования из строя), и дает указания персоналу технич. обслуживания по перестройке оборудования. Этот персонал получает также указания на необходимость вмешательства в работу оборудования и от блока учета деятельности предприятия, когда этот блок устанавливает какие-либо нарушения.

Блок экономического планирования является своеобразным фильтром заказов, поступающих на пр-тие. В этом блоке устанавливается соответствие заказов плановому заданию, осуществляется их группировка в партии оптимального размера, определяется оптимальная последовательность изготовления этих партий и рассчитываются оптимальные объемы запасов материалов для каждого вида продукции. Все эти функции блок выполняет с помощью экономич. модели пр-тия, характеризующей его ресурсы. Уточнение этой модели осуществляется через блок управления издержками произ-ва, к-рый, рассчитывая технэкономич. показатели и оптимизируя производством по этим показателям, посылает корректирующие воздействия в блок экономич. планирования.

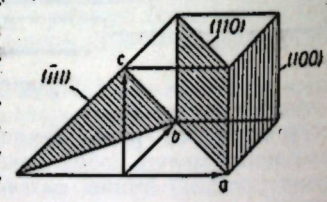
Возможность одновременной оптимизации произ-ва по трем отдельным контурам обеспечивается различным быстродействием этих контуров. Самой медленно действующей является оптимизация по контуру экономич. планирования, осуществляемая на основании статистич. анализа деятельности пр-тия за большой промежуток времени. Быстродействие системы оптимизации по контуру подготовки произ-ва позволяет рассматривать параметры контура экономич. планирования неизменными на весь период процесса оптимизации. Наибольшим быстродействием обладает третий контур — оптимизации выработки программ-графиков (блок управления фабрикацией), что позволяет пренебрегать медленными изменениями алгоритмов функционирования произ-ва.

Приведенная функциональная схема управления пр-тием является весьма упрощенной и неполной и дает представление лишь о функциональной иерархии системы управления. Объемы перерабатываемых отдельными функциональными блоками потоков информации определяет состав заводского ВЦ (вычислительного центра) (число и типы вычислительных машин, устройств ввода и вывода данных, емкости накопителей и т. п.). Работа по созданию таких заводских вычислительных центров ведется и в СССР, и за рубежом. Из зарубежного опыта можно привести пример создания ВЦ на заводе вычислит. машин фирмы ИБМ в США. В соответствии с общим планом з-да и получаемой информации с производственных участков ВЦ вырабатывает задание этим участкам с учетом их фактич. производительности на следующие сутки (всего 8000 заданий 24 цехам з-да). Более совершенной является система на з-де пишущих машинок этой же фирмы. В цехах з-да установлены устройства сбора информации с немедленной ее передачей в ВЦ, оборудованный машиной ИБМ-357, которая используется для выработки текущих заданий участкам производства.

Полной автоматизации процессов управления пр-тий препятствует нерешенность еще многих задач экономич. планирования и подготовки произ-ва, для к-рых еще не разработаны приемлемые математич. методы, позволяющие получать машинное решение. Предстоит еще значительная работа по созданию таких методов с их проверкой на конкретных примерах. Весьма важным и еще полностью нерешенным вопросом является выбор критериев оптимальности деятельности предприятий, формулировка к-рых должна производиться, исходя из интересов всего народного хозяйства, а не отдельной отрасли или предприятия.

А. Б. Челюсткин.

ОРИЕНТАЦИЯ КРИСТАЛЛА (crystal orientation; orientation de cristal; Kristallorientierung) — определение положения кристаллографич. плоскостей внутри *кристалла* относительно выбранной системы координат. Всякую кристаллич. решетку можно представить в виде совокупности параллельных атомных плоскостей с равными расстояниями между ними, измеряемыми обычно в ангстремах ($1Å = 10^{-8}$ *см*). Положение семейства атомных плоскостей относительно элементарной ячейки выражается целыми числами, обратными по величине отрезкам, отсекаемым плоскостью на ребрах элементарной ячейки (см. *Монокристалл*). Эти индексы семейства плоскостей наз. индексами Миллера и обозначаются (*hkl*). Если один индекс равен нулю, плоскость параллельна соответствующей оси. Так, напр., в кубич. решетке грани куба имеют индексы (100), (010) и (001). Плоскости, проходящие через диагональ грани и ребро куба, имеют индексы (110), (011) и т. д. Плоскости, перпендикулярные пространств. диагонали куба, имеют индексы (111), ($\bar{1}11$) и т. д. (Знак минус над индексом означает, что плоскость пересекает ось координат в отрицат. части — по другую сторону от начала координат, относительно ребра *a* элементарной ячейки; см. рис.). Рассмотренные системы плоскостей с малыми индексами Миллера наз. главными кристаллографическими плоскостями. Кристаллографич. плоскости (*hkl*) связаны определ. соотношениями с кристаллографическими направлениями [*hkl*]. Так, для кубич. решетки направление [*hkl*] перпендикулярно системе плоскостей (*hkl*). В производстве ПП, как правило, О. к. сводится к определению положения к.-н. одной из главных кристаллографич. плоскостей, чаще всего (111), относительно торцовой плоскости монокристаллич. слитка. Наиболее широко применяемыми методами ориентации *германия* и *кремния* являются рентгеновский метод с ионизац. регистрацией и метод световых фигур. При применении первого метода обычно используется рентгеновская установка УРС-50И со специально сконструированной приставкой. Когда при вращении образца кристаллографич. плоскость составит с падающим пучком рентгеновских лучей угол θ, удовлетворяющий уравнению Вульфа — Брэгга: $2d\sin\theta = n\lambda$ (d — межплоскостное расстояние семейства кристаллографич. плоскостей, ориентировка к-рых определяется, а λ — длина волны рентгеновских лучей), возникает луч, отраженный от этой системы плоскостей. На пути отраженного пучка рентгеновских лучей под углом 2θ к первичному пучку располагается счетчик Гейгера — Мюллера. Интенсивность отраженного пучка максимальна при отражении от главных кристаллографич. плоскостей. Остановив слиток в положении максимума, можно определить величину угла отклонения кристаллографич. плоскости от торцевой плоскости слитка непосредственно по шкале гониометра установки. Метод может обеспечить высокую точность определения (до минут) при небольших затратах времени.



Главные кристаллографич. плоскости кубич. монокристалла.

Метод световых фигур основан на отражении пучка света от протравл. поверхности кристалла. Т. к. ПП материалы имеют строго направленные силы связи, то при травлении их получаются ямки с хорошей огранкой, что приводит к отчетливым световым фигурам, отклонение к-рых от оси первоначального пучка света характеризует О. к. Точность метода в сильной степени зависит от состава травителей и режимов *травления*. Этот метод имеет неск. меньшую точность, чем рентгеновский метод с ионизац. регистрацией. Однако сам процесс определения очень прост, занимает мало времени (1—2 мин.) и не требует высокой квалификации оператора. Метод позволяет совместить определение О. к. с одновременной приклейкой слитка к столику для ориентированной резки. При этом устраняются ошибки подготовит. операций к резке.

Для О. к. применяется также рентгеновский метод обратной съемки по Лауэ. Однако точность его значительно ниже по сравнению с описанными.

Лит.: Гинье А., Рентгенография кристаллов. Теория и практика, пер. с франц., М., 1961; Багаряцкий Ю. А., Колонцова Е. В., «ЗЛ», 1949, № 9, с. 1062; Schwuttke G. H., «J. Electrochem. Soc.», 1959, v. 106, № 4, p. 315.

И. М. Суходреев.

ОРТИКОН (orthicon; orticon; Orthikon) — *передающая телевизионная трубка*, в к-рой на рабочем участке зависимость величины сигнала на выходе от освещенности фотокатода близка к линейной (откуда название). В О. развертывающий электронный луч образуется электронами с малыми скоростями, благодаря чему вторичная эмиссия отсутствует и чувствительность О. оказывается в 10—20 раз больше, чем иконоскопа. О. явился промежуточной ступенью при разработке наиболее совершенной из совр. передающих телевизионных трубок — суперортикона.

ОСЛАБИТЕЛЬ (attenuator; atténuateur; Dämpfungsglied, Spannungsuntersetzer) — см. *Аттенюатор*.

ОСНОВНОЙ ВХОД (main input; entrée principale; Haupteingang) — точка системы или звена, на к-рую подается основное внешнее воздействие. Основным входом систем автоматич. управления является точка, в к-рую подается *управляющее воздействие*.

М. И. Сахаров.

ОСНОВНЫЕ НОСИТЕЛИ ЗАРЯДА (main charge carriers; porteurs de charge principaux; Hauptladungsträger) — см. *Электропроводность полупроводника*.

ОСТАНОВ (stop; arrêt; Halt) — прекращение работы машины с одноврем. фиксацией данных, характеризующих состояние машины. Различают аварийный останов (см. *Авост*) и заданный останов (ЗО), соответствующий установл. заранее режиму решения задачи или наладки машины. ЗО определяется либо спец. командой в программе решения задач — программный ЗО, либо набором переключателей и ключей на пульте управления машины.

Программный ЗО бывает безусловным и условным. Безусловному ЗО соответствует свой код операций, останавливающий машину независимо от результатов выполнения предыдущих операций (31-я операция машины БЭСМ). Используется при завершении процесса решения задачи или при окончании к.-л. этапа решения, после к-рого требуется вмешательство человека. Сопровождается спец. сигнализацией (световой или звуковой на пульте управления). Адреса команды, производящие безусловный ЗО, и величины на *магистралях числовых* при таком О. определяются программой и служат дополнит. информацией о причинах О. и о путях продолжения вычислит. процесса.

Условный ЗО происходит после выполнения к.-л. арифметич. или логич. операции при соблюдении определ. условия. Таким условием может быть, напр., несовпадение двух чисел при сравнении (26-я операция машины «Стрела») или равенство нулю разности двух чисел (71-я операция машины НОРК).

Примером О., задаваемого набором переключателей на пульте, является О. по адресу. Он происходит при совпадении кодовой комбинации, набранной на пульте, и соответствующего адреса выполняемой команды. О. по признаку наступает при включении определ. тумблера, если в команде имеется заданный признак. К ЗО относится также О., осуществляемый оператором с пульта управления в произвольный момент времени нажатием кнопки или включением тумблера. Пуск машины после ЗО производится кнопкой с пульта управления или сигналом, подаваемым устройством, работающим совместно с машиной.

И. А. Панильченко.

ОСЦИЛЛОГРАФ (oscillograph; oscillographe; Oszillograph) — прибор для записи или визуального наблюдения изменения тока или напряжения во времени, а также для измерения различных электрич. величин: тока, напряжения, частоты, сдвига фаз, глубины модуляции, длительности и частоты повторения электрич. импульсов и др. Преобразуя неэлектрич. величины в электрич., можно записывать или наблюдать посредством О. быстро меняющиеся параметры физич. процессов: давления, темп-ры, ускорения, скорости и др. О. применяются почти во всех отраслях науки и техники как в виде отд. приборов, так и в качестве составных частей различных установок. По принципу работы О. делятся на шлейфовые и электронные. 1) Шлейфовый О.— магнитоэлектрич. или электростатич. электроизмерит. прибор, в к-ром стрелочный указатель заменен записывающей системой. Малая инерционность и большая чувствительность прибора достигаются записью световым лучом на светочувствит. бумаге или пленке. Чувствит. элементом шлейфового О. является вибратор, наз. шлейфом (рис. 1) и состоящий из пост. магнита *4* и *6*, в зазоре к-рого натянуто

петля *1*, выполненная из тонкой металлич. (из сплава меди с серебром, вольфрама или бериллиевой бронзы) проволоки прямоугольного или круглого сечения ок. 10^{-4} *мм*². Петля опирается на две изолирующие опорные призмы *2* и натягивается пружиной *5* с силой от 20 до 100 *г*. В центре магнитного зазора к обеим нитям петли приклеивается зеркало *3* из шлифованного стекла, толщиной примерно 0,05 *мм*. Вся конструкция заключается в корпус, к-рый иногда заполняется парафиновым или синтетич. маслом; при взаимодействии тока в нитях петли с магнитным полем зеркало поворачивается на угол, пропорциональный (при малых углах) величине тока. Концентрированный луч света от источника *8*, направленный системой зеркал *9*, *10* на зеркало вибратора *7*, отражается от него и через систему зеркал *11*, *12* и фокусирующую линзу *13* падает на светочувствительную бумагу или пленку *14*. Зеркало поворачивается в одной (горизонтальной) плоскости, при этом луч чертит по бумаге линию. Чтобы «развернуть» исследуемый процесс во времени, светочувствит. бумага протягивается механизмом перемотки, вращающим перфорац. барабан *15*,

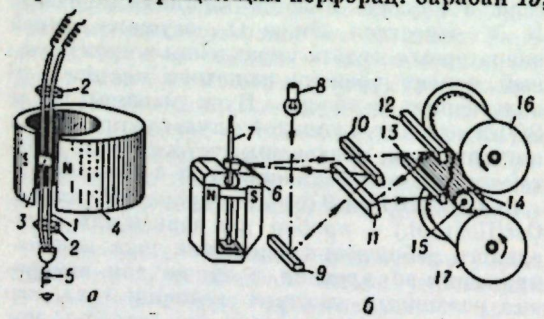


Рис. 1.

наматывающую *16* и сматывающую *17* катушки. При длине хода светового луча, равной *1 м*, чувствительность вибраторов от 0,06 до 50 *мм/ма*.

Шлейфовым О. можно исследовать процессы, частота которых не превышает 10—15 *кгц*. Этот предел обусловлен собственной резонансной частотой подвижной системы вибратора, к-рая в воздухе не превышает 20 *кгц*, а при заполнении кожуха маслом — 6—8 *кгц*.

Скорость протяжки светочувствит. бумаги выбирается, исходя из характера исследуемого процесса, и лежит в пределах от 1—3 до 5000 *мм/сек*.

2) Электронный О. (ЭО) относится к числу практически безынерционных показывающих и записывающих приборов, т. к. в нем для представления исследуемого процесса используется остро сфокусированный электронный луч, перемещающийся под действием электрич. или магнитного поля по поверхности экрана, покрытой флуоресцирующим составом (см. *Электроннолучевая трубка*). Как правило, в ЭО применяются ЭЛТ с электростатич. отклонением луча, обладающие меньшей инерционностью. Вследствие малой чувствительности ЭЛТ по отклонению, исследование с их помощью слабых напряжений возможно только после соответствующего усиления, поэтому в схему ЭО входят также усилители вертикально и горизонтально отклоняющих напряжений. Для наблюдения временны́х процессов на экране к горизонтально отклоняющим пластинам ЭЛТ подводится напряжение *развертки* (рис. 2). Исследуемый сигнал подается со входного гнезда на ступенчатый делитель напряжения, позволяющий ослаблять сигнал ступенями, кратными 10 (т. е. в 10, 100, ... раз). Этот делитель, имеющий частотную коррекцию, позволяет исследовать сигналы, амплитуда к-рых достаточна для отклонения луча ЭЛТ без усиления, или превышает это значение. С промежуточного усилителя сигнал подается через переключатель вида синхронизации П-1 в канал синхронизации в качестве сигнала внутренней синхронизации развертки. Линия задержки задерживает исследуемый сигнал в канале вертик. отклонения на время 0,3—0,5 *мксек*, необходимое для срабатывания каскадов развертки с тем, чтобы горизонт. отклонение луча началось раньше, чем исследуемый сигнал поступит на вертикально отклоняющие пластины ЭЛТ.

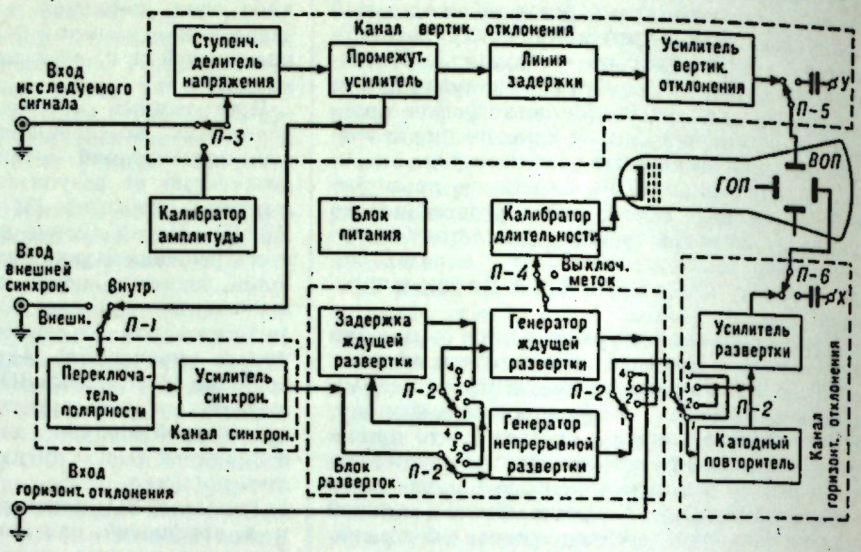


Рис. 2.

Усилитель вертик. отклонения представляет собой широкополосный видеоусилитель, выходной каскад к-рого собран по парафазной схеме. В О. для исследования низкочастотных процессов полоса пропускания обычно от 0 до 1 *Мгц*, при этом усилитель имеет значит. коэфф. усиления, порядка 2000. В О. для исследования импульсных процессов малой длительности полоса пропускания усилителя расширяется до 5—10 *Мгц* посредством коррекции как по низким, так и по ВЧ, что позволяет наблюдать без искажений импульсы длительностью до 0,1 *мксек*. Усилитель горизонт. отклонения также собирается по парафазной схеме; частота развертывающего напряжения обычно не более 200—250 *кгц*, соответственно и полоса пропускания редко превышает 0,5 *Мгц*. Блок развертки вырабатывает развертывающее напряжение пилообразной формы, подаваемое через соответствующий усилитель на горизонтально отклоняющие пластины ЭЛТ. В зависимости от частоты исследуемого процесса переключателем $П_2$ включают либо генератор непрерывной развертки, либо генератор ждущей развертки, либо ждущую развертку с задержкой. В положении 1 переключателя П-2 работает непрерывная развертка, к-рая, в зависимости от положения переключателя П-1, синхронизируется внешним или внутр. (т. е. исследуемым) сигналом. В положении 2 переключателя П-2 запускающие сигналы внешнего или внутр. запуска запускают ждущую развертку. В положении 3 переключателя П-2 импульс запуска развертки подается на каскад задержки развертки — ждущий *мультивибратор*, вырабатывающий прямоугольный импульс, задним фронтом к-рого запускается генератор ждущей развертки. Т. о., длительность задержки ждущей развертки определяется длительностью импульса мультивибратора задержки. Напряжение развертки подается на горизонтально-отклоняющие пластины через усилитель развертки. В положении 4 переключателя П-2 блок разверток и канал синхронизации не работают. На горизонтально отклоняющие пластины можно подавать напряжение любой формы со входа горизонт. отклонения через усилитель развертки. Диапазон непрерывной развертки в низкочастотных О. от сотых долей *гц* до 1 *кгц*, а в электронных О. для исследования периодич. процессов ВЧ и импульсных процессов — от единиц *гц* до 500 *кгц*. Длительность ждущей развертки в низкочастотных О. от 100 *мксек* до 10 *сек*, а в остальных О. зависит от типа и регулируется обычно ступенями от 0,3 *мксек* до неск. миллисекунд.

Калибратором амплитуды служит делитель напряжения питающей сети. Амплитуда напряжения с делителя измеряется ламповым вольтметром. Амплитуда исследуемого сигнала определяется сравнением величины вертик. отклонения луча на экране электронного О., при подаче исследуемого сигнала, с величиной отклонения, получаемого при подаче калиброванного сигнала. Калибратор амплитуды позволяет измерять как амплитудное, так и эффективное значение измеряемого напряжения в пределах от десятых долей *в* до 100—300 *в* с погрешностью порядка 10%. Калибратором длительности служит генератор ударного возбуждения, запускающийся совместно с началом ждущей развертки. Синусоидальные колебания генератора, обладающего высокой стабильностью частоты, подаются на катод или модулирующий электрод ЭЛТ и модулируют луч по яркости, благодаря чему изображение светящейся линии на экране состоит из ярких черточек и темных промежутков. Сочетание яркой черточки и темного промежутка наз. калибрац. меткой. Длительность калибрац. метки зависит от длительности периода синусоид. напряжения генератора ударного возбуждения и обычно выбирается с таким расчетом, чтобы на развертке укладывалось не меньше 20—30 меток.

В схему управления электронным лучом трубки входят регулировки яркости, фокусировки и начального положения луча на экране. Яркость регулируется изменением пост. напряжения на модулирующем электроде; фокусировка — изменением величины пост. напряжения на первом аноде трубки, в зоне действия которого создается электростатич. линза. Нач. положение луча на экране устанавливается изменением пост. напряжений на отклоняющих пластинах ЭЛТ. Блок питания вырабатывает как пост., так и перем. напряжения, необходимые для работы всех каскадов схемы О.

Существуют О. с двухлучевыми трубками, позволяющими наблюдать одновременно два синхронно-протекающих процесса. В таких О. имеются два самостоятельных канала вертикального усиления и общий генератор развертки. Для исследования процессов наносекундной длительности имеются спец. электронные О. с повышенной скоростью ждущей развертки.

Лит.: Ремез Г. А., Курс основных радиотехнических измерений, М., 1955; Осипов К. Д. и Пасынков В. В., Справочник по радиоизмерительным приборам, ч. 3, М., 1959. *Р. В. Фельдман.*

ОСЦИЛЛОГРАФИЧЕСКАЯ ТРУБКА (oscillographic cathode-ray tube; tube oscillographique; Oszillographenröhre) — электронно-графич. электровакуумный одно-, двух- или многолучевой прибор для наблюдения или регистрации осциллограмм, изображений в радиолокаторах. При наблюдении или записи неэлектрич. процессов они предварительно преобразуются в электрические (рис. 1). По

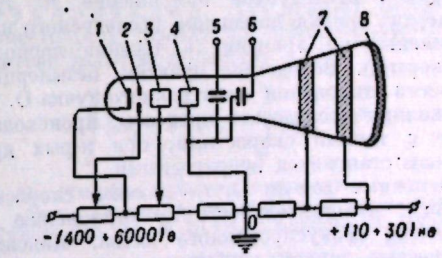


Рис. 1. Схема осциллографич. трубки с послеускорением и ее включение: *1* — катод; *2* — модулятор; *3* — фокусирующий электрод (1-й анод); *4* — ускоряющий электрод (2-й анод); *5* — отклоняющие пластины вертикального отклонения (вход исследуемого сигнала); *6* — отклоняющие пластины горизонт. отклонения (вход пилообразного отклонения); *7* — аноды послеускорения; *8* — люминесцентный экран.

типу экрана О. т. разделяются на: а) Трубки для визуального наблюдения с экранами, имеющими наиболее чувствительные для глаза зеленый или желтый цвет свечения. Эти экраны имеют среднее (0,01—0,1 сек.) или длительное (более 0,1 сек.) время послесвечения и изготовляются из виллемитных, сульфидных и др. люминофоров. б) Трубки для фотографирования с экранами синего или голубого свечения, к к-рым наиболее чувствительны фотоматериалы. Эти экраны имеют длительное, среднее, короткое (10 *мксек* — 10 *мсек*) и очень короткое (менее 10 *мксек*) время послесвечения и изготавливаются из сульфидных, вольфраматных и др. люминофоров. По количеству электронных прожекторов О. т. делятся на однолучевые и многолучевые (от 2 до 10—12 лучей) с неск. системами отклонения, используемые для одновременного наблюдения неск. процессов. О. т. имеют

электростатич. фокусировку луча и работают при напряжении от 400—500 *в* до 20—30 *кв* и токе луча от единиц до сотен *мка*. Отклоняющие системы О. т. изготавливают в виде пластин, спиральных замедляющих систем и спец. электродов радиального отклонения. Экраны О. т. круглые и прямоугольные с размерами по диагонали или диаметрами от 2—3 *см* до десятков *см*. Отклоняющие системы О. т. создают два независимых поля, б. ч. электростатических, отклоняющих электронный луч во взаимно-перпендикулярных направлениях на величину, пропорциональную напряжению на отклоняющей системе. Т. о., отклоняющие системы задают на плоскости экрана систему координат, в к-рой координаты светящегося пятна изображают в нек-ром масштабе значения соответствующих напряжений. Следовательно, при изменении напряжений, поданных на отклоняющие системы, электронный луч вычерчивает на экране кривую (осциллограмму) функциональной зависимости между ними. В частности, если на одну пару отклоняющих пластин подать напряжение периодически линейно нарастающее со временем (пилообразное напряжение развертки, рис. 2), а на вторую — исследуемое напряжение, то луч вычертит кривую изменения исследуемого напряжения во времени (в течение периода развертки). Вследствие практич. безынерционности отклонения электронного пучка О. т. позволяют исследовать процессы, происходящие с такими скоростями, при к-рых др. методы становятся непригодными.

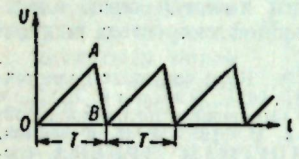


Рис. 2. График пилообразного напряжения: *OA* — прямой ход развертки; *AB* — обратный ход развертки; *T* — период пилообразного напряжения.

Основные хар-ки О. т.: максим. скорость записи, чувствительность по отклонению и размеры сфокусированного пятна. Максим. скоростью записи трубки наз. та скорость перемещения электронного пучка по экрану, при к-рой яркость свечения достаточна для визуального наблюдения или фотографирования осциллограммы: она лежит в пределах от единиц *км/сек* до скоростей, близких к скорости света (при применении высоких ускоряющих напряжений 20—30 *кв* и более). Чувствительностью по отклонению О. т. наз. величина, численно равная смещению сфокусированного пятна на экране, при подаче на отклоняющие пластины напряжения 1 *в*, или же (для трубок, предназначенных для фотографирования осциллограмм) напряжению, необходимому для смещения сфокусированного пятна на экране на величину своего диаметра. О. т. имеют чувствительность от сотых долей *мм/в* до единиц *мм/в*, или же от десятков *в/диаметр* до единиц *в/диаметр*. Различают статич. чувствительность — чувствительность при пост. отклоняющем поле и динамическую — при переменном. Динамич. чувствительность зависит от частоты исследуемого напряжения и выражается ф-лой

$$h_1 = \frac{l_1 l}{2Ud} \cdot \frac{\sin \omega\tau/2}{\omega\tau/2} = h_0 \frac{\sin \omega\tau/2}{\omega\tau/2},$$

где h_1 — динамич. чувствительность трубки (в *мм/в*); h_0 — статич. чувствительность трубки (в *мм/в*); l_1 — длина отклоняющих пластин; l — расстояние от центра отклонения до экрана; d — расстояние между пластинами; U — ускоряющее напряжение; $\omega\tau$ — угол пролета; ω — частота отклоняющего напряжения; τ — время пролета электронов между пластинами.

Изменение динамич. чувствительности ограничивает частотный спектр исследуемых процессов.

Расширение частотного предела, при сохранении высокой чувствительности, достигается применением спиральных замедляющих систем, в к-рых фазовая скорость распространения волны вдоль замедляющей системы и скорость электронов пучка одинаковы. При этом электронный пучок, проходя отклоняющую систему, испытывает отклонение при действии постоянного отклоняющего поля, что позволяет получить осциллограммы процессов, происходящих с частотами до десятков тысяч *Мгц*. Др. путь увеличения скорости записи и частотного диапазона — применение в трубках послеускорения, когда отклоненный пучок ускоряется дополнительно полем одного или неск. анодов послеускорения.

Скорость записи и точность измерений по осциллограммам зависят от качества фокусировки электронного пучка, к-рая характеризуется диаметром сфокусированного пятна и разрешающей способностью, равной числу сфокусированных пятен на экране, укладывающихся на единице длины. О. т. имеют разрешающую способность от десятков до единиц пятен на *мм* (диаметры пятен от десятков *мк* до 1 *мм*).

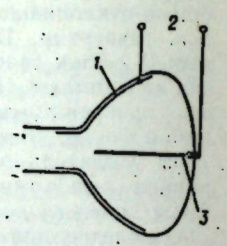


Рис. 3. Схема системы радиального отклонения: *1* — проводящее покрытие; *2* — вход исследуемого напряжения; *3* — центр. штырь.

К спец. типам О. т. относятся трубки с радиальным отклонением пучка, в к-рых исследуемый процесс представляется в полярных координатах (рис. 3), высоковольтные трубки с холодным катодом и пост. откачкой и запоминающие трубки, к-рые позволяют однократную запись воспроизводить десятки мин., а без воспроизведения хранить часами.

Лит.: Муляров М. Я., Электронно-лучевые приборы, М.—Л., 1954; Стекольников И. С., Электронная осциллография кратковременных процессов, М.—Л., 1952; Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960.

В. М. Кондратенков.

ОТКЛОНЕНИЕ СРЕДНЕЕ КВАДРАТИЧНОЕ стандартное (mean-square deviation; écart quadratique moyen; mittlere quadratische Abweichung) — неотрицат. значение квадратного корня из дисперсии случайной величины. О. с. к. является хар-кой рассеивания возможных значений случайной величины относительно их среднего значения. Для практич. использования эта хар-ка более удобна, чем дисперсия, т. к. она имеет ту же размерность, что и случайная величина. О. с. к. σ_x случайной величины x вычисляется по ф-ле:

$$\sigma_x = \sqrt{D_x} = \sqrt{M\{(x-m_x)^2\}} = \sqrt{\int_{-\infty}^{\infty} (x-m_x)^2 p(x)\,dx},$$

где D_x — дисперсия x, M — символ матем. ожидания, m_x — матем. ожидание x, $p(x)$ — плотность вероятности.

О. с. к. случайной ф-ции вычисляется аналогично, но зависит в общем случае от времени t — $\sigma_x(t)$. Если $x(t)$ стационарная случайная ф-ция, то его О. с. к. является пост. величиной и может быть вычислена усреднением по времени:

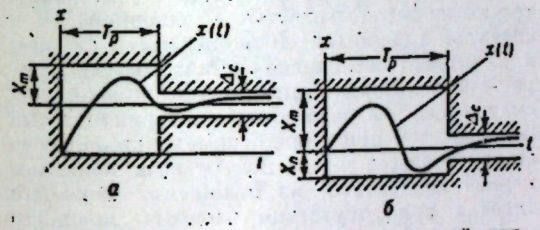
$$\sigma_x = \sqrt{\lim_{T\to\infty} \frac{1}{2T} \int_{-T}^{T} [x(t) - m_x(t)]^2\,dt},$$

где T — длина отрезка на эксперимент. кривой $x(t)$. Величина О. с. к. ошибки САР служит одним из возможных критериев качества ее работы.

Лит.: Пугачев В. С., Теория случайных функций и ее применение к задачам автоматического управления, 2 изд., М., 1960.

А. И. Тейман.

ОТКЛОНЕНИЙ ОБЛАСТЬ ДОПУСТИМАЯ (admissible deviation domain; domaine d'écarts admissibles; zulässiger Abweichungsbereich) — 1) Для переходного режима работы САР — область в пространстве координат и времени, из к-рой не должна выходить, согласно технич. и эксплуатац. требованиям, кривая переходного процесса. Задание О. о. д. является одним из способов формулирования



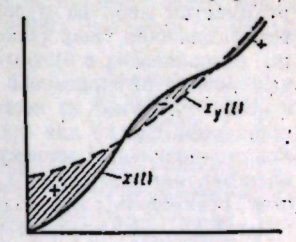
Примеры допустимой области отклонений для одномерной САР, где Δ_c — зона допустимых статич. ошибок; T_p — допустимое время регулирования; X_m — макс. допустимое отклонение; X_a — допустимое перерегулирование; $x(t)$ — допустимая кривая.

требований к качеству процесса регулирования (см. *Качества показатели*) проектируемой САР. Примеры О. о. д. для одномерной САР даны на рис. для случаев: а) перехода системы с одного рабочего режима на другой; б) отработки системой возмущения, выводящего объект из состояния равновесия. Показанные области устанавливают верхние пределы для макс. отклонения, перерегулирования, времени регулирования и статич. ошибки процесса. Кроме задания О. о. д. могут предъявляться и др. требования к качеству переходного процесса (число колебаний, монотонность и др.), поэтому не всякая кривая переходного процесса, заключенная внутри О. о. д., будет являться допустимой.

2) Для установившегося режима работы САР и для режима работы при стационарных случайных воздействиях — область в пространстве координат системы, в пределах к-рой допустимы отклонения состояния системы от номинального рабочего режима. Для одномерной системы — зона допустимых отклонений выходной координаты от ее номинального значения.

Э. М. Солнечный.

ОТКЛОНЕНИЯ ПЛОЩАДЬ (deviation area; surface des écarts; Abweichfläche) — вычисленная алгебраически площадь области, заключенной между кривой изменения во времени к.-л. координаты динамич. системы в установившемся движении и кривой изменения ее в процессе перехода системы из нек-рого начального состояния к этому установившемуся движению:



$$S = \left| \int_0^{\infty} (x_y - x)\,dt \right|$$

[рис., где $x(t)$ — координата системы; $x_y(t)$ — установившееся движение]. Для монотонных процессов О. п. является одним из интегральных показателей качества переходного процесса. О. п. легко может быть вычислена по известным изображениям величин x и x_y (без значения оригиналов), а именно:

$$S = \left| \lim_{p\to 0} [L\{x_y\} - L\{x\}] \right|,$$

где L — означает изображение по Лапласу. Отсюда, по передаточной ф-ции $K(p)$ устойчивой линейной системы можно вычислить О. п. импульсной переходной ф-ции $S = |K(0)|$ и переходной ф-ции $S = \left|\frac{dK}{dp}\right|_{p=0}$. Для сложной системы эти две последние хар-ки могут быть вычислены по соответствующим хар-кам звеньев, входящих в систему. О. п. переходного процесса САР часто наз. площадью регулирования. Для колебат. процессов вместо О. п. вводят др. интегральные показатели качества процесса:

$$\int_0^{\infty} |x_y - x|\,dt, \quad \int_0^{\infty} (x_y - x)^2\,dt$$

и др. (см. *Качества показатели*).

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954, гл. 20.

Э. М. Солнечный.

ОТЛАДКА ПРОГРАММЫ (programme error detection and correction; détection et correction d'erreurs de programme; Programmablage) — процесс обнаружения ошибок в программе с помощью машины и их исправления. О. п. производится в два этапа. Первый этап наз. автономной О. п., а второй — комплексной. При автономной О. п. проверяются отдельные участки программы: правильность вычислений (арифметич. проверка), правильность передачи управления командами условного перехода (логич. проверка), правильность выполнения команд варьирующих операторов (операторов переадресации, восстановления, формирования) и т. д. Проверяется также правильность заготовл. констант программы (счетчики, шкалы и т. п.).

Арифметич. проверка заключается в сравнении результатов машинного и ручного счета по одним и тем же вычислит. ф-лам и осуществляется либо программистом, либо машиной с помощью спец. подпрограммы. Логич. проверка основана на выполнении команд, вычисляющих значения логич. переменной ω в соответствии с заданными исходными величинами, и команд условного перехода, передающих управление в зависимости от значения ω. Проверка правильности выполнения варьирующих операторов производится сравнением вычисляемых значений перем. команд

программы с заготовл. значениями этих же команд.

Окончание выполнения исследуемого участка отлаживаемой программы задается программистом либо на пульте управления (с использованием спец. режимов работы машины, позволяющих в нужных местах прерывать выполнение отлаживаемой программы), либо в спец. программе из нескольких команд, составленной только для проверки к.-л. участков отлаживаемой программы. Такая программа позволяет обращаться к исследуемому участку, сравнивать результаты счета на машине с заготовл. результатами ручного счета, выдавать на выходное устройство результаты счета или к.-л. др. информацию.

Для уменьшения трудоемкости автономной отладки нередко применяются спец. отлаживающие программы, большинство из к-рых копируют ту или иную работу, выполняемую программистом вручную. Для каждой такой программы исходной информацией служит отлаживаемая программа и нек-рая дополнит. информация (об исследуемых участках отлаживаемой программы; о том, что выдавать на выходные устройства и что с чем сравнивать и т. д.). Наиболее обстоятельную проверку осуществляют программы, к-рые выполняют по отдельности каждую команду исследуемого участка, «анализируя» ее результат.

После того как в отлаживаемой программе устранены ошибки, обнаруж. при автономной отладке, производят комплексную О. п. С помощью отлаживаемой программы решают несколько примеров, при к-рых автономно отлаженные части программы работают в комплексе. Результаты решения сравнивают с результатами ручного счета, либо оценивают прикидочно.

О. п. в ряде случаев производят не только на той машине (назовем ее машиной A), в кодах команд к-рой составлена отлаживаемая программа, но и на машине с др. системой команд (назовем ее B). В этом случае используется спец. система программ, к-рая содержит в себе, во-первых, систему подпрограмм, каждая из к-рых имитирует на машине B выполнение операции, соответствующей нек-рой команде машины A, и, во-вторых, управляющую программу, к-рая осуществляет переход от команд машины A к командам машины B и реализует имитацию.

О. п. можно осуществлять путем автоматического (с помощью самой машины) *декодирования программ*.

Г. Д. Фролов.

ОТНОШЕНИЕ СИГНАЛ/ПОМЕХА (signal/noise ratio; rapport signal/bruit; Störabstand) — отношение величин, характеризующих сигнал и помеху. Под О. с./п. понимают либо отношение ср. мощностей, либо отношение эффективных значений напряжений сигнала и помехи. Эта величина широко используется при оценке *помехоустойчивости* систем передачи информации. Она — наиболее простой критерий, т. к. для своего определения требует только знания спектров сигнала и помехи. О. с./п. имеет смысл рассматривать в определ. полосе частот. Различают О. с./п. на входе и на выходе приемного устройства. В первом случае О. с./п. измеряется обычно в полосе пропускания входного фильтра. При сравнении различных типов приемных устройств особенно удобно использовать удельное О. с./п. ϱ_0 — отношение эффективного напряжения сигнала U_c к эффективному напряжению помехи U_n в полосе пропускания $F_m = 1/2T$, где F_m — наивысшая частота спектра передаваемого параметра, а под T часто понимают быстродействие системы. При этом помехоустойчивость любой системы, ошибка на выходе к-рой распределена по норм. закону, можно характеризовать величиной среднеквадратичной ошибки в зависимости от ϱ_0.

О. с./п. на выходе позволяет оценить верность воспроизведения сигнала данным приемным устройством при помехах определ. типа. Величина О. с./п. на выходе в ряде случаев используется в качестве критерия при определении оптимальных (с точки зрения максимума О. с./п.) параметров приемника.

Для расчета О. с./п. при линейных и нелинейных преобразованиях процесса (сигнал+помеха) используются методы теории преобразования *спектров энергетических*. Когда сигнал и аддитивная помеха проходят через линейное устройство, происходит деформация их энергетич. спектров в соответствии с частотной хар-кой устройства. Энергетич. спектр процесса на выходе нелинейных устройств приобретает более сложную структуру. В этом случае энергетич. спектр представляют в виде трех составляющих: первая, обусловленная биениями составляющих сигнала, вторая — только помехой и третья — одновременно и сигналом и помехой. В зависимости от того, куда относят последнюю составляющую спектра — к полезному сигналу или помехе, рассматривают два различных критерия. Первый используется при оценке помехоустойчивости систем связи, в к-рых под О. с./п. понимают корень квадратный из отношения мощности сигнала при отсутствии помех к мощности помех в той же полосе, подсчитанных при наличии сигнала. В задачах обнаружения слабых сигналов на фоне шумов (в радиолокации, радиоастрономии и т. п.) часто оказывается более предпочтительным применение второго критерия, т. к. наличие взаимной спектр. плотности сигнала и помехи дает дополнит. информацию о сигнале.

О. с./п. наиболее широко используется при оценке помехоустойчивости систем связи при флуктуац. помехах. Для различных видов радиосвязи на величину О. с./п. в полосе пропускания входного фильтра установлены определ. нормы: для удовлетворит. приема на слух телеграфных сигналов требуется 5—10 *дб*, для телефонного разговора 25—35 *дб* и для радиовещания 30—100 *дб*. При передаче информации др. видов более удобными для оценки помехоустойчивости оказываются др. вероятностные критерии, в частности критерий среднеквадратичной ошибки на выходе системы при заданном О. с./п. на входе. Такой критерий используется при анализе систем автоматич. управления, систем ТИ и т. п. В ТУ широко пользуются критериями подавления и возникновения ложной команды, в др. случаях — иными критериями оптимальности. При применении этих критериев необходимо определять более сложные статистич. хар-ки сигнала и помехи. Все эти критерии находятся при определенном О.с./п.

Лит.: Левин Б. Р., Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике, 2 изд., М., 1960; Васильев Р. Р., Шастова Г. А., Передача телемеханической информации, М.—Л., 1960

Л. Б. Венчковский.

ОТОБРАЖЕНИЯ УСТРОЙСТВО (display unit; dispositif de représentation; Abnahmeeinrichtung) — внешнее или выносное устройство вывода информации из ЭВМ, преобразующее цифровую информацию в различные формы символов и линий и обеспечивающее совм. работу ЭВМ и человека. Для того чтобы эффективно использовать физиологич. возможности человека, информация должна поступать от машины к нему в форме, к-рая обеспечила бы ее наилучшее восприятие и понимание. Напр., в системах ПВО или в системах управления воздушным движением при больших аэродромах особое значение имеет быстрое и оперативное отображение на командных и диспетчерских пунктах воздушной обстановки. О. у. в сочетании с управляющими вычислит. машинами, производящими анализ и обобщение данных с большой скоростью, позволяют получить в наглядной форме отображение радиолокац. информации с индикацией ряда дополнит. данных (принадлежности, типа, высоты, курса, скорости объектов и т. п.). О. у. со знаковой индикацией позволяют совмещать различного рода данные, выводимые из ЭВМ, с географич. картами, графиками движения транспорта, метеосводками, таблицами и др. сведениями. О. у. часто используют в сочетании с быстродействующей фотопечатью при выводе данных из ЭВМ в цифробукв. виде. При этом одновременно может осуществляться преобразование кода из двоичного в десятичный (напр., знаковая ЭЛТ типа индикодер).

О. у. характеризуются следующими осн. параметрами: 1) быстродействие или время реакции на запрос. Задержка между запросом и появлением изображения на индикаторе зависит от инерционности самого индикатора и быстродействия схем управления; 2) длительность выдачи данных, т. е. время отображения к.-л. сведений на индикаторе до момента их обновления. Это время во многом зависит от области применения О. у. и может изменяться от сек. до час.; 3) объем одновременно отображаемых данных, зависящий от геометрич. размеров индикаторов и их оптич. разрешающей способности, а также характера и условий работы (контрастность, яркость, наличие помех, фон от совмещения с картой и т. д.); 4) точность индикации, т. е. соответствие изображения данным, поступающим из ЭВМ как по содержанию, так и по расположению информации на индикаторе; 5) изобразит. возможности индикаторов; они определяются наличием алфавитно-цифрового выхода, возможностью стирания, изменения и дополнения отдельных знаков, способностью к воспроизведению линий, заштрихованных областей на графиках, схемах, картах (воздушные трассы, дороги, топографич. карты, функцион. зависимости и т. д.), возможностью использования различных цветов, полутонов, стереоэффекта и т. д.

Изображение на индикаторе создается превращением цифрового кода и запоминанием изображения для проекции. В наиболее общем виде блок-схема О. у. дана на рис. 1. Информация в виде цифрового кода, определяющего, что и где должно быть изображено, поступает из ЭВМ на О. у. Буферное ЗУ запоминает эту информацию и обеспечивает периодич. выдачу изображаемых данных на индикатор. Блок преобразования кода в изображение превращает закодиров. в цифровой форме символы и линии в видимое изображение (рис. 8). Символы могут быть получены с помощью логических устройств и электронолучевых приборов, позволяющих создавать точечные

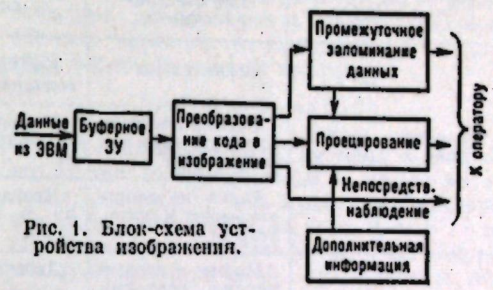


Рис. 1. Блок-схема устройства изображения.

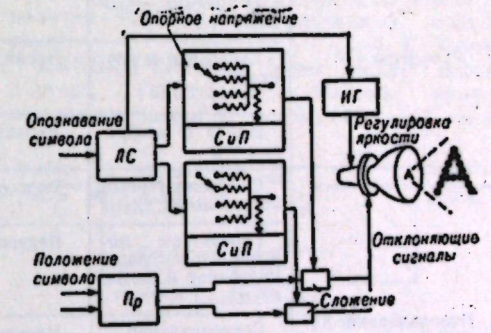


Рис. 2. Генератор точечного изображения символов с устройством памяти на сопротивлениях; *ИГ* — импульсный генератор; *ЛС* — логич. схема опознавания символов; *С* и *П* — схема на сопротивлениях и переключатели; *Пр* — преобразователь дискретных величин в непрерывные.

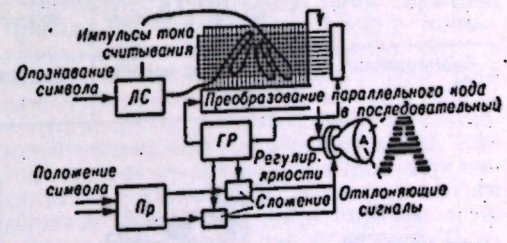


Рис. 3. Генератор точечного изображения символов с развертывающим лучом и памятью на магнитных сердечниках; *ГР* — генератор развертки.

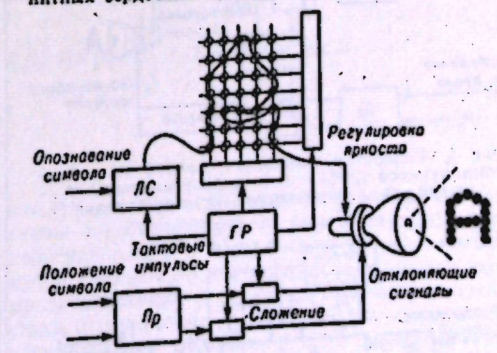


Рис. 4. Генератор символов при помощи развертки с памятью на магнитных сердечниках.

растры с модуляцией яркости, смешивать колебания спец. формы и формировать электронный луч спец. матрицами-масками. Линии обычно образуются точками, отрезками прямых линий или векторов Т. о., после этого блока оператор может непосредственно счи-

зывать данные (см. *Характрон*). Технич. способы реализации блока даны на рис. 2—7 и в таблице.

Метод формирования символа	Способ запоминания сведений о символе	Вырабатываемые сигналы	Частота генерации символ/сек	Способ смены символа	Тип устройства
Точечное изображение	Логич. схемы	Импульсы в проводниках		Замена схем	Считывающие
	Барабан, магнитные сердечники или память ЭВМ	Координаты точки в цифровой форме	25 000	Перезапись кода в памяти	
	Схема на сопротивлениях и логич. устр-во	Координаты точки в аналоговой форме	25 000—75 000	Замена плат с сопротивлениями	Дотитрон (рис. 2)
Развертка	Платы с сердечниками, соединенные особым способом	Двоичный растр	10 000—50 000	Замена плат с сердечниками	СМ-I, II, (рис. 3) Видиак (рис. 4)
	Барабан и логич. схема	Двоичный растр	10 000	Перезапись кода в памяти	Флайдеи
	Маска с изображением	Двоичный растр		Замена маски	(рис. 5)
Использование колебаний спец. формы или штрихов	Синусоид. генераторы и логич. схема	Видеосигналы	25 000	Замена схемы	(рис. 6)
	Генераторы линейно-нарастающих колебаний и логич. схема	Видеосигналы	2 000	Замена схемы	Диджитрон
	Сопротивления, тр-ры	Координаты концов отрезка в аналоговой форме		Замена схемы	
	Барабан или магнитные сердечники	Координаты концов отрезка в цифровой форме	1 000	Перезапись кода в памяти	Дейтавью (рис. 7)
	Маска с изображением	Видеосигналы		Замена маски	
Формирование луча	Маска с изображением	Фигурный луч	20 000	Замена трубки	Характрон

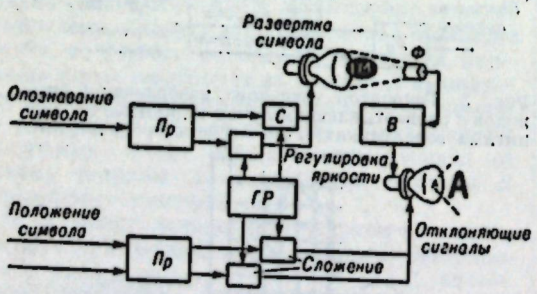


Рис. 5. Генератор символов с маской на электронолучевой трубке: *В* — видеоусилитель, *М* — маска, *Ф* — фотоэлемент, *С* — смеситель.

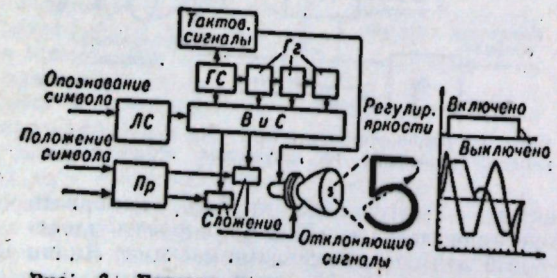


Рис. 6. Генерирование символов с помощью непрерывных колебаний спец. формы: *ГС* — синусоид. генератор, *Гг* — генератор гармоник, *В* и *С* — схема выборки и смеситель.

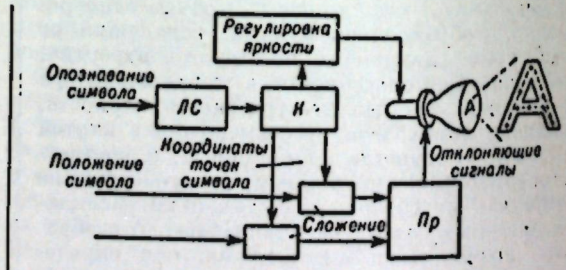


Рис. 7. Генератор символов с заданием координат конечных точек отрезков прямых линий: *К* — карточка с цифровым описанием символов.

В тех случаях, когда требуются индикаторы больших размеров, применяются блоки проекторов, однако оптич. проектирование непосредственно с трубок затрудняется из-за резкого уменьшения яркости. Поэтому в таких случаях используют блоки промежуточного запоминания изображения на спец. носителе и последующего увеличения оптич. средствами. Промежуточными носителями изображения могут быть фотографич. аппарата с быстрой обработкой фотоматериалов (доли сек.), электростатич. устройства, масляные пленки и термопластич. материалы. На блоке проектора обычно совмещается знаковая информация с дополнительной (картами, диаграммами, рисунками).



Рис. 8. Возможные формы генерируемых символов.

Дальнейшее развитие О. у. идет в направлении использования таких средств, как электрофотография, поляризов. люминофоры, световые модуляторы, электролюминесцентные панели. См. также *Информации представление*.

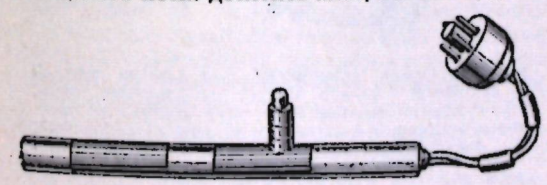
Лит.: Лоев (Loewe R. T.), Сиссон (Sisson R. L.), Хоровиц (Horowitz P.), Методы индикации данных, поступающих с вычислительных устройств, «Тр. ин-та радиоинженеров», рус. пер., 1961, № 1: Соловейчик И. Е., Анищенко П. М., Знаковая индикация и ее применение в современных радиоэлектронных системах, М., 1959. *В. П. Исаев.*

ОТСТАВАНИЕ ФАЗЫ (phase lag; retard de phase; Nacheilung der Phase) — отставание выходного периодич. сигнала пост. частоты относительно входного периодич. сигнала той же частоты, выраженное в угловых долях периода (обычно в градусах), или отставание фазы выходного периодич. сигнала по отношению к фазе входного сигнала. При пост. параметрах системы О. ф. φ является ф-цией частоты входного сигнала и определяется по амплитудной фазовой (или фазовой частотной) хар-ке. Большинство элементов САР имеет О. ф. Введение в основной контур элементов с О. ф., как правило, уменьшает запас устойчивости системы и ухудшает качество процесса регулирования.

Лит. см. в ст. *Опережение фазы. А. Г. Адоян.*

ОФИТРОН (ophitron; ophitron; Ophitron) — гетеродинный генератор СВЧ типа ЛОВ (см. *Лампа обратной волны*) с периодич. электростатич. фокусировкой электронного луча.

Название «О.» произошло от греческого слова — ophis — змея и указывает на волнообразный характер движения пучка вдоль структуры. Происходит это из-за того, что замедляющая структура расположена асимметрично между двумя отрицательно заряженными электродами (пластинами), причем ближний электрод имеет более низкий потенциал. Замедляющая система [1] в таком генераторе является составной частью системы для фокусировки электронного луча. Диапазон частот, в к-ром О. может быть применен, видимо, ограничен возможностью изготовления периодич. структуры. Данные одного такого генератора [2]: диапазон непрерывной перестройки частоты 7,3—11,3 *Ггц* при изменении напряжения от 500 до 1500 *в*, выходная мощность неск. десятков *мвт*, вес 225 *г*, длина



Внешний вид офитрона.

23 *см*, диаметр 2 *см* (рис.). Особенностью О. является чистый спектр, свободный от боковых частот, причиной к-рых является ионная генерация.

Лит.: 1) Соловьев Е. Г., Круглый и прямоугольный волноводы с продольными диафрагмами, «ЖТФ», 1955, т. 25, вып. 4, с. 707—10; 2) Dyott R. B. [a. o.], The ophitron — an electrostatically focused backward wave oscillator, «Nachrichtentechnische Fachberichte», 1961, Bd 22, S. 2—4. *Е. Г. Соловьев.*

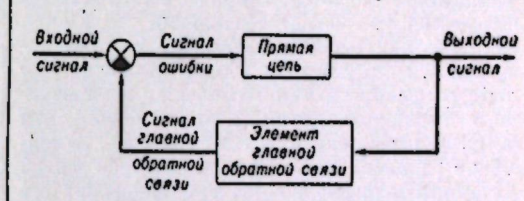
ОШИБКА СРЕДНЯЯ КВАДРАТИЧНАЯ (mean-square error; erreur quadratique moyenne; mittlerer quadratischer Fehler) — вероятностная хар-ка качества работы динамич. системы. Определяется как положит. квадратный корень из нек-рой величины:

$$\Delta = M\,[\,|x^*(t) - x(t)|^2],$$

где $x(t)$ — желаемый выход системы, а $x^*(t)$ — его фактич. приближение (M — символ математич. ожидания). Если входное воздействие и система стационарны, то О. с. к. при $t \to \infty$ стремится к пост. величине. О. с. к. обычно пользуются как оценкой, определяющей динамич. точность работы следящей системы при наличии стационарных случайных воздействий.

Л. П. Сысоев.

ОШИБКИ СИГНАЛ (error signal; signal d'erreur; Fehlersignal) — разность между входным сигналом и *главной обратной связи*



сигналом в замкнутых САР (см. *Ошибки уравнение*). О. с. используется для управления прямой цепью системы (рис.). См. также *Сигнал*.

Р. С. Рутман.

ОШИБКИ УРАВНЕНИЕ (error equation; equation d'erreur; Fehlergleichung) — соотношение, выражающее сигнал ошибки $\varepsilon(t)$ в замкнутой системе через входной сигнал $x(t)$ и *главной обратной связи сигнал* $c(t)$: $\varepsilon(t) = x(t) - c(t)$. О. у. отражает наличие в замкнутой системе главной обратной связи, благодаря к-рой реализуется принцип регулирования по отклонению. Т. к. сигнал главной обратной связи может быть выражен через входные воздействия и хар-ки системы, О. у. может быть записано также в виде, не содержащем непосредственно $c(t)$:

$$\varepsilon(t) = x(t) - \int_0^t x(t-\tau)\,k(\tau)\,d\tau - \int_0^t f(t-\tau)\,k_f(\tau)\,d\tau,$$

где $k(t)$ — импульсная хар-ка разомкнутой системы по отношению к управляющему воздействию; $k_f(t)$ — импульсная хар-ка разомкнутой системы по отношению к возмущающему воздействию; $f(t)$ — возмущающее воздействие. В многосвязной системе, где имеются N регулируемых величин, О. у. записывается для каждой из них в виде:

$$\varepsilon_i(t) = x_i(t) - c_i(t), \quad i = 1, 2, \ldots, N.$$

Запись О. у. в изображениях по Лапласу:

$$E(s) = X(s) - C(s).$$

Р. С. Рутман.

П

ПАЙКА ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ (welding by induction heating; soudure par chauffage à induction; Lötung bei Induktionserwärmung, Lötung bei induktiver Erwärmung) — метод соединения металлич. деталей, при к-ром сочленяемые участки нагреваются до темп-ры, более высокой, чем темп-ра расплавления материала, используемого в качестве припоя, и более низкой, чем темп-ра расплавления самих деталей. Заполнение расплавленным припоем зазоров между деталями и диффузионное проникновение его в поверхностные слои в зоне пайки, а также взаимное растворение металла деталей и припоя обеспечивают, после охлаждения деталей и кристаллизации припоя, получение механически прочного и герметичного соединения. П. при и. н. производится с помощью «твердых» припоев, обладающих темп-рой плавления выше 550° С, и «мягких» припоев с температурой плавления менее 400° С. Твердые припои обеспечивают получение более высокой прочности в зоне пайки.

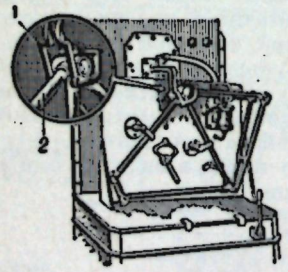


Рис. 1. Схема станка для полуавтоматич. пайки узла рамы велосипеда: *1* — нагреват. индуктор; *2* — подвергаемая пайке рама.

Наиболее распространена в пром. практике пайка при питании индукторов от *генераторов ламповых* (частота 70 *кгц* и выше), в отд. случаях — от машинных генераторов (2,5 *кгц* — 8 *кгц*) и даже током пром. частоты (50 *гц*). При определении целесообразности применения П. при и. н. необходимо учитывать конфигурацию шва, материал и массы соединяемых этим методом участков, возможность разместить индуктор вблизи шва и получить равномерный нагрев требуемого участка. Средняя величина зазора между деталями в зоне П. при и. н. должна составлять 0,05—0,15 *мм*.

По способу подачи деталей в индуктор, дозировки и отключения нагрева различают (табл.): ручную пайку с фиксацией детали в индукторе и без фиксации; полуавтоматич. пайку (рис. 1); автоматич. пайку

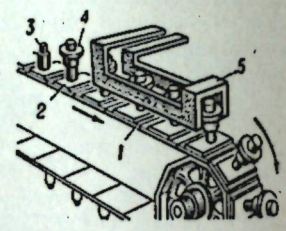


Рис. 2. Схема устройства для автоматич. пайки с непрерывной подачей деталей в индуктор: *1* — лента конвейера; *2* — керамич. подставки; *3* — оправка для насадки детали; *4* — подвергаемые пайке детали; *5* — петлевой индуктор.

с подачей деталей в индуктор (рис. 2), причем наибольшая производительность получается при подаче конвейерными или роторными устройствами. П. при и. н. может производиться на воздухе с применением флюса, а также в восстановительной среде, в вакууме и в нейтральном газе без флюса. Как при непосредственном нагреве детали (рис. 3), так и при косвенном нагреве пайка в газовых средах и вакууме позволяет получать окончательно годные детали, не требующие последующей зачистки, механической обработки и удаления флюса.

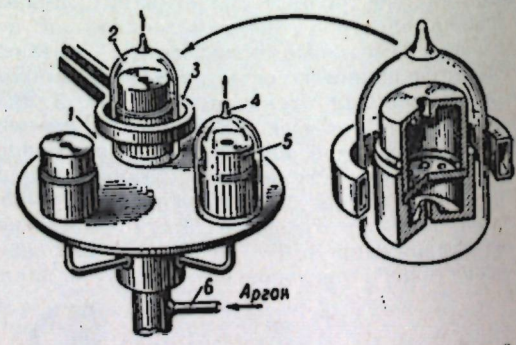


Рис. 3. Схема устройства для пайки деталей в защитной газовой среде: *1* — медный стол; *2* — стеклянный колпачок; *3* — индуктор; *4* — носок колпачка с отверстием для выхода газа; *5* — соединяемые пайкой детали; *6* — трубка для подачи аргона.

Классификация способов высокочастотной пайки

Ручная (с фиксацией и без фиксации детали в индукторе)			Полуавтоматич. (с фиксацией детали в индукторе)			Автоматич. (с подачей детали в индуктор)	
Периодич. (с ручным отключением нагрева)	Непрерывная (с подачей детали вручную)	С повторно-кратковременным включением нагрева	С дозировкой нагрева по температуре	С дозировкой нагрева по времени	С дозировкой нагрева по энергии	Непрерывная	Периодич. (по замкнутому циклу)

Достоинства П. при и. н.: 1) меньшее коробление и поводка изделия по сравнению с др. методами пайки, вследствие зонального нагрева подвергаемых пайке участков; 2) возможность быстро нагревать металл и пропаивать глубинные швы за счет выделения тепла в самом изделии; 3) высокая производительность процесса, обеспечиваемая концентрацией значит. мощности в малом объеме, особенно при использовании токов ВЧ; 4) получение однородных результатов благодаря точной дозировке энергии, передаваемой в изделие; 5) возможность автоматизировать процесс пайки и осуществить его в потоке механич. обработки; 6) удешевление процесса (по сравнению с пайкой при нагреве газовыми горелками и в электропечах) при высокой его производительности; 7) улучшение и оздоровление условий труда рабочих. Недостатки: 1) большие затраты на приобретение оборудования; 2) зависимость формы индуктора от формы шва в зоне пайки и конструкции детали (каждая деталь требует спец. индуктора). П. при и. н. применяется в инструментальной, радиотехнич., электротехнич., машиностроит. пром-сти и др. и особенно выгодна при массовом произ-ве изделий.

Лит.: Бухман Н. А., Имшенник К. П., Пайка твердосплавного инструмента, М., 1951; Лозинский М. Г., Промышленное применение индукционного нагрева, М., 1958; Богословский С. Д., Сердюк С. В., Скоростная капиллярная пайка стальных изделий токами высокой частоты, М., 1949; Вологдин В. В., Пайка при индукционном нагреве, 2 изд., М.—Л., 1957; Шепеляковский К. З., Рыскин С. Е., Техника применения индукционного нагрева, М., 1949.

В. В. Вологдин.

ПАНДЕМОНИУМ (pandemonium; pandémonium; Pandemonium) — классифицирующая машина, процесс обучения к-рой основан на поиске значений нек-рых параметров, минимизирующих число ошибок за серию испытаний (см. *Обучаемая машина*). *Э. М. Браверман.*

ПАРАЗИТНАЯ СВЯЗЬ (parasitic connection; liaison parasite; Streukopplung) — нежелательная связь между выходными и входными цепями радиотехнич. схем. Наиболее характерно проявляется в многокаскадных усилителях. В радиочастотных усилителях встречаются след. виды паразитных *обратных связей*: 1) Связь между выходом и входом всего усилителя. Может иметь как емкостный, так и индуктивный характер и может быть ослаблена или устранена за счет экранировки, рационального расположения деталей и их соединений, пространственного разноса входных и выходных цепей. 2) Связь между выходными и входными цепями отдельных ступеней усилителя. Меры борьбы с этим видом П. с. те же; однако здесь легче устранить действие П. с., так как система, охваченная обратной связью, обладает меньшим усилением. 3) Связь через межэлектродные емкости ламп. Проходная емкость C_{ac} в усилит. каскаде связывает анодную цепь с сеточной, т. е. выход усилит. ступени с ее входом. Наличие этой емкости вызывает П. с., к-рая оказывает существ влияние на св-ва усилителя, его коэфф. усиления, частотную хар-ку и избирательность. В отдельных случаях П. с. через емкость C_{ac} вызывает генерацию в усилителе. Возможна *нейтрализация* проходной емкости включением в схему каскада дополнит. настраивающихся элементов. 4) Связь через общие источники питания. Ее можно исключить посредством системы фильтров (т. н. развязывающих цепей). 5) Паразитная генерация на СВЧ. Возникает в усилит. схемах на пентодах, за счет индуктивностей вывода экранирующей сетки, блокировочного конденсатора и заземляющего провода. Эти индуктивности, соединенные параллельно с емкостью $C_{c_1к}$, представляют собой контур, настроенный на СВЧ. С др. стороны индуктивность вывода управляющей сетки с соединит. проводами также представляет собой контур, настроенный на СВЧ емкостью $C_{c,к}$. Т. о., схема цепей катода, экранирующей и управляющей сеток эквивалентна схеме генератора на триоде со связью через внутриламповые емкости. При соответствующем соотношении настроек обоих контуров возникает генерация. Эта генерация может в явной форме не проявляться, но существенно влиять на анодный ток лампы, линейность амплитудной хар-ки и др. Иногда эта генерация может послужить причиной нарушения нормальной работы усилителя на основной частоте. Может быть исключена тщательным монтажом. 6) Обратная связь на гармониках усиливаемой частоты. Обычно проявляется в усилителе, составленном из каскадов усилителей высокой и промежуточной частоты. В этом случае напряжение П. с. поступает на вход усилителя ВЧ. Связь на гармониках особенно резко проявляется тогда, когда в усилителе промежуточной частоты имеются контуры, настроенные на частоты, лежащие в диапазоне частот, принимаемых приемником.

Лит.: Чистяков Н. И., Сидоров В. М., Мельников В. С., Радиоприемные устройства, М., 1958; Колосов А. А., Резонансные системы и резонансные усилители, М., 1949; Волин М. Л., Усилители промежуточной частоты, 3 изд., М., 1956.

И. А. Стрельцов.

ПАРАЛЛЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ МАШИНА (parallel-action computer; machine d'action parallèle; Parallelwirkungs-Maschine) — ЦВМ, в к-рой передача информации и все действия над кодами осуществляются, как правило, одновременно по всем разрядам. Макс. количество разрядов, к-рые могут одновременно обрабатываться в устройствах и передаваться по цепям машины, наз. разрядностью П. д. м. Каждому разряду цифровых кодов, использующихся в машине, соответствует отдельный канал (кодовая шина, сумматор и т. д.). В связи с этим П. д. м. конструктивно значительно сложнее машин последоват. действия. Количество оборудования (M) П. д. м. пропорционально разрядности машины (n) и основанию системы счисления (r), принятой в машине: $M=knr=kr\frac{\log N}{\log r}$, где k — коэфф. пропорциональности, определяемый структурой, логикой и конструктивными особенностями машины, а N — число кодовых комбинаций, соответствующих n разрядам. Теоретически наименьшее количество оборудования для заданного количества информации, представляемого в машине, обеспечивает $r=e=2{,}718$. Практически наиболее часто используется основание системы счисления, равное 2. Это —

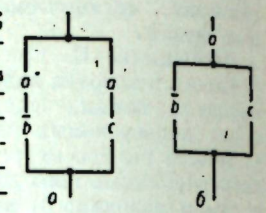
одно из самых близких к оптимальному целочисл. основание, наиболее легко реализуемое технически.

Скорость работы П.д.м. существенно выше скорости работы *последовательного действия машин* с аналогичными частотными хар-ками элементов и значительно меньше зависит от длины обрабатываемых кодов, поскольку информация в П. д. м. обрабатывается по всем разрядам одновременно. Однако увеличение разрядности П. д. м. связано с ее существ. конструктивным усложнением, в то время как в последоват. машинах изменение разрядности кодов можно осуществить довольно просто. Как правило, в П. д. м. используются параллельные ОЗУ статич. типа. В зависимости от способа выборки информации из ОЗУ различают П. д. м. с пост. и перем. длиной машинного слова. В машинах с пост. длиной слова («Стрела», БЭСМ) из ОЗУ по одному адресу всегда извлекается содержимое полной ячейки, независимо от длины требуемого кода. Управление выборкой и записью информации в этом случае упрощается, однако оборудование ОЗУ используется неэффективно, поскольку для записи и хранения даже самого короткого слова (напр., одноразрядного) необходима полноразрядная ячейка памяти. П. д. м. с перем. длиной слова позволяют осуществлять запись и выборку кодов либо с рядом фиксиров. длин (ИБМ-701), либо с произвольной (в пределах разрядности машины) длиной и расположением в ОЗУ (СТРЕТЧ). Нек-рая сложность организации обращения к ОЗУ в этом случае окупается эффективностью его эксплуатации, ибо каждая полноразрядная ячейка ОЗУ может одновременно использоваться для нескольких независимых кодов, длина к-рых меньше максимально возможной.

П. д. м. применяются в тех случаях, когда требование высокой производительности машины более важно, чем требование минимума оборудования. Наиболее часто П. д. м. являются быстродействующие стационарные универс. или информационно-логич. машины, а также управляющие машины, работающие в реальном масштабе времени.

Лит.: Лебедев С. А. и Мельников В. А., Общее описание БЭСМ и методика выполнения операций, М., 1959 (Электронная цифровая вычислительная машина БЭСМ, вып. 1); Эккерт Дж. П., Юнивак-Ларк — новый шаг в конструировании вычислительных машин, в кн.: Кибернетический сборник, 3, М., 1961; Бухгольц У., Некоторые замечания по проекту вычислительной машины СТРЕТЧ, в кн.: Кибернетический сборник, 2, М., 1961; Devoland C. H., Fotheringham J. A., The atlas computer, «Datanation», 1961, v. 7, № 5. *И. А. Данильченко.*

ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНАЯ СТРУКТУРА, структура класса П, П-схема (parallel-serial structure; structure parallèle-série; Parallel-Serien-Struktur), — структура релейного устройства, в к-рой имеются только двухполюсные параллельные или последовательные соединения релейных цепей. П.-п. с. однозначно описывается структурной ф-лой, к-рая может быть представлена в виде логич. ф-ции (в случае П.-п. с., построенной из двухпозиционных элементов — в виде булевой ф-ции). Если П.-п. с. не содержит др. элементов, кроме контактов, то она наз. контактной. Структурная ф-ла контактной П.-п. с. может быть определена рекуррентными правилами: а) 0 и 1 являются структурными ф-лами постоянно разомкнутой и постоянно замкнутой цепи соответственно; б) каждая из булевых переменных x, ..., z, $\bar{x}$, ..., $\bar{z}$ является структурной ф-лой П.-п. с., состоящей только из одного контакта (буква без черты соответствует замыкающему контакту; буква с чертой наверху — размыкающему контакту; черта означает логич. отрицание); в) если F_1 и F_2 — структурные ф-лы цепей G_1 и G_2, то F_1F_2 — структурная ф-ла цепи, полученной путем последовательного двухполюсного соединения цепей G_1 и G_2, F_1+F_2 — структурная ф-ла цепи, полученной путем параллельного двухполюсного соединения цепей G_1 и G_2 (умножение и сложение в этих ф-лах — логические; см. *Алгебра логики*); г) любая структурная ф-ла есть результат многократного использования правил пунктов а, б, в.



Ввиду взаимно-однозначного соответствия между П.-п. с. и структурной ф-лой задача преобразования и упрощения П.-п. с. сводится к задаче преобразования и упрощения соответствующих структурных ф-л. Напр., П.-п. с. рис., *а* соответствует структурная ф-ла $ab+ac$ или ф-ла $a(b+c)$, к-рой соответствует П.-п. с. рис., *б*, содержащая на один контакт меньше (подробнее см. *Минимизация*, *Равносильные преобразования структуры релейного устройства*). П.-п. с. реализуются также и на бесконтактных элементах. В этом случае переменные булевых ф-ций интерпретируются не только проводимостями, но и напряжениями, токами, давлениями и т. п.

Лит.: Гаврилов М. А., Структурная теория релейных устройств. Лекция, [3 изд.], ч. 1, М., 1961, [2 изд.], ч. 2, М., 1960; Моисил Г., Алгебраическая теория дискретных автоматических устройств, пер. с румын., М., 1963. *В. М. Остиану.*

ПАРАЛЛЕЛЬНО-ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ МАШИНА (parallel-serial action computer; machine d'action parallèle-série; Parallel-Serienwirkungs-Maschine) — ЦВМ, в которой все действия над кодами осуществляются последовательно по частям при параллельной обработке всех разрядов каждой части. По производительности и количеству оборудования П.-п. д. м. занимает промежуточное положение между *последовательного действия машинами* и *параллельного действия машинами* с аналогичными частотными хар-ками. Степень приближения по параметрам к соответствующим машинам параллельного и последовательного действия зависит от числа и размера составных частей, на к-рые делятся обрабатываемые машиной коды. Последовательно-параллельный принцип используется наиболее часто в машинах с двоично-десятичной системой кодировки (БИЗМАК и ИБМ-7090, США, К-1, Япония). Такая кодировка, несмотря на наличие неэффективной избыточности (из 16 возможных комбинаций 4-разрядного двоичного кода, представляющего одну десятичную цифру, используется только 10), оказывается весьма удобной при обработке значит. массивов информации. В этом случае можно исключить непроизводит. потерю времени для перевода информации в двоичную (или в к.-л. иную, напр. в троичную) систему счисления при вводе данных и обратного перевода при выводе. В двоично-

десятичных П.-п. д. м. каждая параллельно обрабатываемая часть является двоичным кодом одной десятичной цифры. Количество таких частей определяется разрядностью чисел. Обработка информации при этом осуществляется в процессе ее передачи в АУ по каждому двоично-кодиров. десятичному разряду. В машинах с двоичной системой счисления выбор параллельно-последоват. принципа передачи и обработки информации определяется конструктивными особенностями устройств машины и удобством их логич. и схемного согласования («Урал»). Различают П.-п. д. м. с параллельным ОЗУ (НОРК), у к-рых выбор информации из ОЗУ производится одновременно всеми разрядами с последующим свертыванием ее по группам, и П.-п. д. м. с параллельно-последовательным ОЗУ («Урал») с однотипной выборкой, передачей и обработкой информации. Параллельно-последовательный способ записи и выборки из ЗУ используется гл. обр. в периодич. ЗУ на барабанах и в ЗУ на магнитных лентах. В этом случае удается повысить плотность записи (с уменьшением числа головок уменьшается их суммарный перекос) и, т. о., сохранить скорость считывания и записи такой же, как и при параллельной выборке, а количество оборудования (элементов усилительно-формирующего тракта) при этом уменьшить. По этой причине даже в ряде параллельных машин в ЗУ на барабанах и магнитных лентах используется параллельно-последовательная запись и выборка информации (М-20).

Лит.: Эккерт В. и Джонс Р., Электронная вычислительная машина НОРК, пер. с англ., М.—Киев, 1960; Calculatrice IBM-609, «Rev. mécanogr.», 1961, v. 15, № 159, p. 6—8, 10—12, 14, 16—18. *И. А. Данильченко.*

ПАРАМАГНИТНЫЙ УСИЛИТЕЛЬ КВАНТОВЫЙ (paramagnetic quantum amplifier; amplificateur paramagnétique des quanta; paramagnetischer Quantenverstärker) — квантовый усилитель, в к-ром используется индуцированное излучение ионов парамагнитного вещества, находящегося в виде небольшой добавки (порядка долей %) в диамагнитном растворителе (напр., ионы Cr^{3+} в монокристалле сапфира). Расстояние между энергетич. уровнями этих ионов можно изменять с помощью внешнего постоянного магнитного поля, что дает возможность перестройки рабочей частоты П. у. к. Подробнее см. *Квантовая система*, *Мазер*. *М. М. Горшков.*

ПАРАМЕТР РАСПРЕДЕЛЕННЫЙ (distributed parameter; paramètre réparti; verteilter Parameter) — параметр, определяющий процесс изменения состояния системы не только во времени, но и в пространстве. Системы, содержащие П. р., описываются дифференц. уравнениями в частных производных, где независимые переменные — время и пространств. координаты. Характерный пример системы с П. р.— длинная линия электропередачи, у к-рой индуктивность, емкость, сопротивление и проводимость рассматриваются распределенными по всей длине. Эти величины, приходящиеся на единицу длины, служат П. р. этой линии. *Л. П. Сысоев.*

ПАРАМЕТР СИСТЕМЫ (system parameter; paramètre de système; Systemparameter) — величина, характеризующая к.-л. св-во динамич. системы. Физ. процессы, протекающие в системе, описываются ур-ниями, связывающими перем. величины этого процесса. П. с. обычно входят в коэфф. этих ур-ний, к-рые могут быть постоянными или переменными, зависящими от времени или от координат системы. Примеры П. с.: масса, коэфф. трения в механич. системах; индуктивность, сопротивление, емкость в электрич. цепях. Напр., параметрами крутильного маятника, описываемого дифференц. ур-нием $J\ddot{\varphi}+k\varphi=F$, являются J — момент инерции и k — коэфф. упругости нити подвеса. П. с. могут быть *параметрами сосредоточенными* и *параметрами распределенными* в пространстве. *Л. П. Сысоев.*

ПАРАМЕТР СОСРЕДОТОЧЕННЫЙ (lumped parameter; paramètre localisé; konzentrierter Parameter) — параметр системы, не учитывающий распределения ее состояния в пространстве. При описании системы П. с. можно считать сосредоточенным в одной точке пространства. Процессы, происходящие в системе, содержащей только П. с., описываются обыкновенными дифференц. ур-ниями, в коэфф. к-рых входят П. с. *Л. П. Сысоев.*

ПАРАМЕТРА ОБЛАСТЬ (parametric domain; domaine paramètrique; Parameterbereich) — область допустимых значений параметра. При определении П. о. учитываются накладываемые на систему ограничения. Последние могут быть заданы различно, чаще всего в виде неравенств. При наличии неск. параметров их области, определенные в отдельности, могут быть сужены при учете взаимосвязи этих параметров. Однако необходимо учитывать, согласуется ли условие физ. осуществимости системы со значениями параметров из указанных областей. *Т. И. Товстуха.*

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ УСИЛИТЕЛЬ (parametric amplifier; amplificateur paramétrique; parametrischer Verstärker) — усилитель электрич. сигналов, в к-ром увеличение мощности сигнала происходит за счет энергии источника, периодически изменяющего величину реактивного параметра системы (емкости или индуктивности). Принцип параметрич. усиления можно уяснить из рассмотрения физ. процессов в колебат. контуре, емкость к-рого меняется периодически. Пусть в контур (рис.1) поступает слабый сигнал $e(t)$, представляющий собой эдс $e(t)=\mathcal{E}\cos\omega_c t$ ($\omega_c=\omega_0=\sqrt{1/LC}$), ток в контуре $i(t)=(\mathcal{E}/R)\cos\omega_c t$, а заряд на конденсаторе: $q=q_0\sin\omega_c t=CQ\mathcal{E}\sin\omega_c t$, где $Q=\sqrt{L/C}/R$ — добротность контура. Электростатич. энергия W, запасаемая в конденсаторе и равная

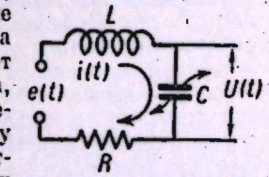


Рис. 1.

$$W=(1/2C)\,q^2=(1/2C)\,q_0^2\left(\frac{1}{2}-\frac{1}{2}\cos 2\omega_c t\right), \quad (1)$$

изменяется с удвоенной частотой сигнала. Пусть в момент, когда заряд конденсатора равен q, его емкость C скачком изменится на небольшую величину ΔC. При этом заряд не успеет измениться, а энергия W изменится на величину ΔW

$$\Delta W=-W\cdot\Delta C/C. \quad (2)$$

Из (2) видно, что увеличение энергии в контуре при изменении C будет макс., если уменьшать емкость ($\Delta C<0$) в моменты, когда W

максимально, а возвращать величину емкости к исходному значению ($\Delta C>0$) при $W=0$. Для этого, в соответствии с (1), следует изменять C с частотой $2\omega_c$ и с определ. фазой (рис. 2, *а*, *б*). Тогда устройство, изменяющее величину C, как бы накачивает энергию в контур два раза за период колебаний. При этом амплитуда сигнала на обкладках конденсатора $U(t)$ непрерывно возрастает (рис. 2, *в*).

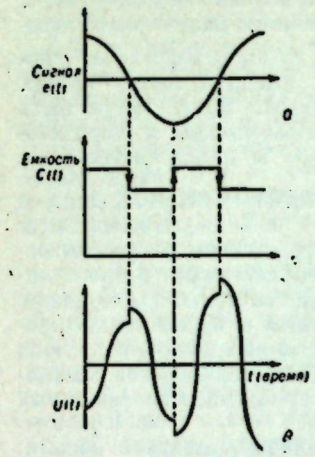


Рис. 2.

Одноконтурный П. у. является системой, в к-рой емкость изменяется в результате воздействия гармонич. напряжения спец. генератора (генератор накачки) на ПП диод, емкость к-рого зависит от величины приложенного к нему напряжения (рис. 3). Величиной, характеризующей возможность применения ПП диода в П. у., является его критич. частота $\omega_{кр}=m/R_sC_0$, где R_s — сопротивление базы, а C_0 — емкость диода при обратном напряжении, близком к напряжению пробоя. $\omega_{кр}$ связана с усиливаемой частотой П. у. соотношением $\omega_{кр}\geqslant(2-4)\,\omega_{раб}$. Обычное ПП диоды не удовлетворяют этому требованию для ВЧ. Спец. параметрич. диоды с большим $\omega_{кр}$ позволяют работать на частотах свыше 10 000 *Мгц*. Конструктивно одноконтурный П. у. СВЧ представляет собой «волноводный крест»: по одному из волноводов поступает электромагнитная волна сигнала, по др.— энергия накачки (рис. 4). В пересечении волноводов помещен параметрич. диод. Осн. недостаток одноконтурного П. у.— зависимость коэфф. усиления от соотношения между фазами усиливаемого сигнала и сигнала накачки. Если $\omega_c\neq(\omega_н/2)$, то соотношение между этими фазами и, следовательно, коэфф. усиления периодически меняются, что приводит к появлению в спектре усиленного сигнала паразитной линии на частоте, «зеркальной» относительно $\omega/2$.

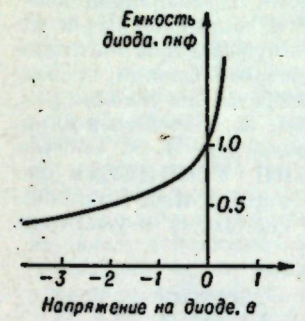


Рис. 3.

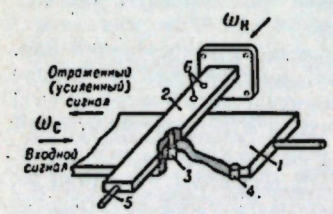


Рис. 4. Параметрич. одноконтурный усилитель сантиметрового диапазона: *1* — сигнальный волновод; *2* — волновод накачки; *3* — ПП диод; *4*, *5* — настроечные поршни; *6* — настроечные винты.

Двухконтурный П. у. (рис. 5) отличается от предыдущего тем, что здесь переменная емкость C присоединена к двум контурам, один из к-рых — контур сигнала, а второй R_2, L_2, C_2' наз. холостым или балластным. Пусть на емкости C_1' сигн. контура имеется сигнал $u_1=U\cos(\omega_c t+\varphi_1)$, а в балластном контуре совершаются гармонич. колебания с частотой ω_2, близкой к его резонансной частоте; напряжение на емкости C_2': $u_2=U\cos(\omega_2 t+\varphi_2)$. Тогда напряжение u на переменной емкости C будет

$$u=u_1+u_2=U\cos(\omega_c t+\varphi_1)+U\cos(\omega_2 t+\varphi_2)=$$
$$=2U\cos\left(\frac{\omega_2-\omega_c}{2}t+\frac{\varphi_2-\varphi_1}{2}\right)\times$$
$$\times\cos\left(\frac{\omega_2+\omega_c}{2}t+\frac{\varphi_2+\varphi_1}{2}\right). \qquad (3)$$

Если аналогично предыдущему уменьшать C, когда на ней макс. напряжение, и увеличивать при напряжении, близком к 0, то u меняется с 2 разными частотами (рис. 6)

$$(\omega_2+\omega_c)/2$$
и $$(\omega_2-\omega_c)/2.$$

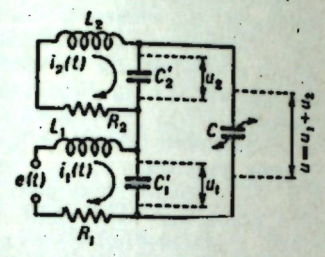


Рис. 5. Схема двухконтурного параметрич. усилителя.

Поэтому и параметрич. накачку можно производить соответственно на частотах $\omega_н=\omega_2+\omega_c$ и $\omega_н=\omega_2-\omega_c$. Изменения u и C должны быть согласованы по фазе. Вместе с тем в выражение (3) φ_1, φ_2 входят в виде суммы или разности. Это означает, что балластный контур «развязывает» частоту и фазу сигнала от частоты и фазы накачки. При заданных $\omega_н$ и $\varphi_н$ частота и фаза колебания в балластном контуре подлаживаются так, чтобы в совокупности с частотой и фазой сигнала удовлетворить условиям эффективной накачки энергии. У двухконтурного П. у. энергия, поступающая от генератора накачки, распределяется между колебаниями u_1 и u_2 определ. образом в зависимости от того, равна ли частота балластного контура разности или сумме частот накачки и сигнала:

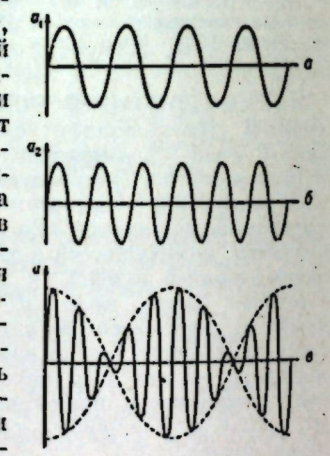


Рис. 6.

$$\omega_2^-=\omega_н-\omega_c,\ \omega_2^+=\omega_н+\omega_c.$$

Если P_1 и P_2 — мощности, поступающие в сигнальный и балластный контуры, а $P_н$ — общая мощность, отдаваемая генератором накачки (знак минус означает, что эта мощность отбирается), то можно показать, что:

$$P_1/\omega_c+P_2/(\omega_c\pm\omega_н)=0 \qquad (4)$$
$$P_н/\omega_н+P_2/(\omega_н\pm\omega_c)=0, \qquad (5)$$

откуда следует, в частности: $-P_н=P_1+P_2$. Если $\omega_2^-=\omega_н-\omega_c$, то энергия от генератора накачки поступает как в сигнальный, так и в

балластный контур и распределяется между ними в соответствии с (4):

$$P_1/P_2=\omega_c/(\omega_н-\omega_c).$$

Соотношения (4) и (5) определяют распределение энергии по частотам под влиянием реактивной нелинейности, характер к-рой при этом роли не играет. В двухконтурном П. у. при расстройке не появляется зеркального сигнала и нет биений, он ведет себя как обычный ламповый или транзисторный резонансный усилитель с положит. обратной связью. Его полоса пропускания $2\overline{\Delta\omega}$ на уровне 3 *дб* оказывается равной [2]:

$$2\overline{\Delta\omega}\simeq 3{,}1\,\frac{1}{Q}\left(1-\frac{m}{2}Q\right). \qquad (6)$$

Для простоты часто принимается, что генератор сигнала $e(t)$ идеальный, т. е. его внутр. сопротивление $R_i=0$. При наличии конечного R_i генератор сигнала может отдать в контур мощность $P_{вх}$ не более:

$$(P_{вх})_{макс}=\frac{1}{2}\,\frac{\mathcal{E}^2}{4R_i}.$$

При этом коэфф. усиления

$$G=P_{R_н}/(P_{вх})_{макс}=$$
$$=4R_iR_н/\left[R^2\left(1-\frac{m}{2}Q\right)^2\right]. \qquad (7)$$

Под Q следует понимать т. н. нагруженную добротность (с учетом затухания, вносимого R_i). Т. о., при увеличении накачки, когда $\frac{1}{2}mQ\to 1$, G неограниченно растет и, вместе с тем, полоса пропускания П. у. $\Delta\omega/\omega\to 0$. При этом $\sqrt{G}\,2\overline{\Delta\omega}=\text{const}$, где $\sqrt{G}$ характеризует коэфф. усиления П. у. по напряжению. Сигнал можно снимать также и со второго контура (нагрузка вместо R_2, рис. 5). При этом коэфф. усиления

$$G_2=G\omega_2/\omega_1 \qquad (8)$$

и несущая частота ω_2 — иная. В этом случае П. у. наз. регенеративным усилителем-преобразователем.

По-другому ведет себя 2-контурный П. у., если $\omega_н=\omega_2-\omega_c$, т. е. частота второго контура ω_2^+; вся энергия параметрич. накачки поступает только к колебаниям с более высокой частотой ω_2^+ и, кроме того, у колебаний с более низкой частотой ω_c отбирается мощность. Усиление сигнала можно получить только в результате преобразования его от низшей частоты ω_c к высшей $\omega_2^+=\omega_н+\omega_c$, и усиление тем больше, чем больше ω_1. Коэфф. усиления определяется из (4): $G=-P_2/P_1=(\omega_н+\omega_c)/\omega_c$. Такой П. у. наз. нерегенеративным усилителем-преобразователем. Его достоинства: при любом m сохраняется устойчивость, обратное воздействие с выхода на вход ослабляется в отношении $\omega_c/(\omega_н+\omega_c)$, т. е. он однонаправлен. При том же Q контуров, что и у регенеративного П. у., полоса пропускания у него шире. Осн. недостаток: малый коэфф. усиления, что ограничивает применения этих П. у. в области СВЧ. Этот недостаток частично устраняется введением 3-го балластного контура на разностной частоте, за счет чего в сигнальный контур вносится регенерация, поднимающая коэфф. усиления [3].

В П. у. с бегущей волной электромагнитная волна сигнала, распространяясь слева направо по волноводу (рис. 7), последовательно взаимодействует с каждым из расположенных на пути параметрич. диодов. Емкость диодов изменяется за счет энергии, подводимой к резонаторам накачки. Каждый диод дает небольшое усиление, но зато обеспечивает широкую полосу. При правильно подобранных фазовых постоянных по мере распространения волны сигнала вдоль линии усиление ее экспоненциально нарастает [4].

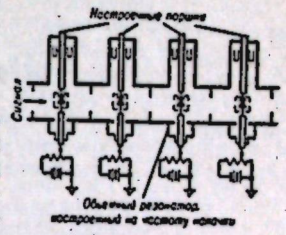


Рис. 7.

В П. у. бегущей волны можно получить ширину полосы пропускания до 25% несущей частоты, в то время как в резонансных П. у. полоса составляет неск. % несущей. В П. у. бегущей волны не нужны однонаправленные вентили, т. к. усиление происходит лишь в направлении распространения волны. Конструкция таких П. у. сложнее, и к диодам предъявляются строгие требования идентичности. Параметрич. диоды наиболее широко используются в П. у., ибо они имеют малые потери на ВЧ, емкость их легко управляется небольшими напряжениями при малых мощностях накачки (порядка десяти *мвт*).

Первым П. у. СВЧ был ферритовый, в котором использовались явления, связанные с процессией нескомпенсированных собств. магнитных моментов электронов феррита. Эти эффекты приводят к появлению в полости, где находится феррит, эквивалентной индуктивности, меняющейся под действием накачки [5, 6].

В качестве нелинейной реактивности П. у. можно использовать конденсаторы с сегнетоэлектриками, но у них потери быстро растут, а нелинейные св-ва падают с ростом частоты воздействующего на них электрич. поля. Это затрудняет использование их в области СВЧ. Возможно, что в области миллиметровых волн сегнетоэлектрики в параэлектрич. состоянии могут конкурировать с параметрич. диодами [7].

В электронолучевых П. у. усиление получается за счет использования нелинейных св-в электронного луча, модулированного по плотности. В наиболее распростран. приборе Адлера [8] система накачки создает вращающееся электрич. поле. При прохождении электронного луча сквозь поле накачки в луче запасается кинетич. энергия (электроны вращаются по спиралям бо́льших радиусов, чем первонач. радиусы вращения, вызванные входным сигналом). При этом новые радиусы остаются пропорциональными входному сигналу, и луч, взаимодействуя с выходным устройством, отдает энергию усиленного сигнала в нагрузку.

Параметрич. усиление можно осуществлять за счет механич., акустич. или др. видов колебаний или волн, изменяющих реактивные параметры системы. Возможность применения световой накачки позволит усиливать сигналы самых высоких частот, вплоть до световых [10]. Можно получить параметрич. усиление даже за счет шумовой накачки, т. е. используя в качестве генератора накачки флуктуации, хаотически изменяющие реактивный параметр системы [11].

Существуют П. у. с $\omega_н<\omega_c$; в этом случае используют высшие области параметрич. возбуждения колебаний и требуется большая мощность накачки. П. у. наряду с квантовыми усилителями применяются как входные высокочувствит. усилители радиолокац. устройств в радиотелескопах и в линиях космич. радиосвязи.

Лит.: 1) Мандельштам Л. И., Папалекси Н. Д., «Изв. Электропром. слабого тока», 1935, № 3, с. 1; 2) Карасев М. Д., «УФН», 1959, т. 69, вып. 2, с. 217; 3) Гао Бао-Синь, Иванов И. В., Карасев М. Д., «РиЭ», 1962, т. 7, вып. 7; 4) Cullen A. L., «Proc. Instn Electr. Engrs», 1960, B 107, № 32, p. 101; 5) Suhl H., «Phys. Rev.», 1957, v. 106, № 2, p. 384; 6) Weiss M. T., там же, 1957, v. 107, № 1, p. 317; 7) Johnson K. M., «J. Appl. Phys.», 1962, v. 33, № 9, p. 2826; 8) Adler R., «Proc. I.R.E.», 1958, v. 46, № 6, p. 1300; 9) Bridges T. J., Ashkin A., там же, 1960, v. 48, № 3, p. 361; 10) Ахманов А. С., Хохлов Р. В., «ЖЭТФ», 1962, т. 43, вып. 7, с. 351; 11) Дьяков Ю. Е., «РиЭ», 1960, т. 5, вып. 5, с. 863; 12) Сергованцев Б. В., Параметрические усилители СВЧ, М., 1961; 13) Перцов С. В., Параметрические усилители, М.—Л., 1962.

М. Д. Карасев.

ПАРАМЕТРИЧЕСКОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ (parametric programming; programmation paramétrique; parametrische Programmierung) — совокупность экономных методов анализа семейства задач *математического программирования*, зависящих от одного или нескольких параметров. Методы П. п. позволяют установить диапазоны изменения параметров *целевой функции* (показателя качества) и ограничений задачи математич. программирования, при к-рых ее решение не изменяется. П. п. разрабатывает также экономные пути перехода от решения задачи в одном диапазоне изменения параметров к решению в соседнем диапазоне. Исследования по П. п. вызваны как трудностями в получении точных значений исходных данных в практич. задачах планирования и управления, так и необходимостью исследования зависимости оптим. плана от значений тех или иных параметров, определяющих условия задачи.

Естеств. путь учета вариации параметров — решение большого числа задач математич. программирования для фиксиров. значений варьируемых величин — чрезвычайно трудоемкая работа даже в простейшем случае однопараметрич. линейного программирования. Отсюда необходимость в спец. методах.

Примером приложения методов П. п. служит задача о составлении оптим. графика обеспечения произ-ва сырьем, оборудованием, кадрами или др. производств. факторами. Одним из важных этапов планирования является согласование колебаний спроса предприятия-потребителя с возможностями поставщика. Увеличение поставок в результате возросшего спроса на отдельном этапе требует дополнит. затрат. С др. стороны, инерционность поставщика в отдельные периоды может приводить к поступлению избыточного количества сырья или рабочей силы. Хранение избыточных материалов или обслуживание и обеспечение излишнего персонала до тех пор, пока он не понадобится произ-ву, связаны с бесполезными расходами.

Пусть λ — параметр, определяющий соотношение между затратами на форсирование поставок требуемого производств. фактора и ущербом от содержания такого же количества избыточного фактора. В практич. задачах обычно известно не точное значение λ, а некоторый диапазон, включающий его. Величина λ может изменяться в широких пределах с изменением условий снабжения произ-ва. Пусть известны потребности произ-ва в определ. производств. факторе, напр. в станках на все n периодов, на к-рые рассчитана программа работы. Требуется для заданного диапазона изменения λ составить варианты графиков снабжения, при к-рых дополнит. расходы от колебаний спроса сводились бы к минимуму. Обозначим через a_j ($j=1, 2, \ldots, n$) потребности произ-ва в станках на j-том этапе, через x_j($j=1,2, \ldots, n$) — число станков, поставленных произ-ву на j-том этапе, через y_j ($j=1, 2, \ldots, n$) число станков, поступивших в первые j этапов сверх потребностей произ-ва. Расходы на содержание излишних станков пропорциональны сумме $y_1+y_2+\ldots+y_n$. Затраты на форсирование снабжения в отдельные периоды пропорциональны размерам требуемых приращений:

$$f(x_2-x_1)+f(x_3-x_2)+\ldots+f(x_n-x_{n-1}),$$

где

$$f(x_k-x_{k-1})=\begin{cases}a_k(x_k-x_{k-1}) \text{ при } x_k-x_{k-1}>0,\\ 0 \text{ при } x_k-x_{k-1}\leqslant 0\end{cases}$$

(предполагается, что сокращение произ-ва не ведет к затратам). Т. о., суммарные расходы, связанные с колебанием спроса и инерционностью поставщиков, пропорциональны следующему выражению:

$$L^{(\lambda)}=\sum_{j=1}^{n} y_j+\lambda\sum_{j=2}^{n} f(x_j-x_{j-1}). \qquad (1)$$

По условию общее количество станков, поставленных за j месяцев, превышает потребности на y_j единиц, т. е.

$$\sum_{i=1}^{j} x_i\geqslant\sum_{i=1}^{j} a_i+y_j,\ j=1, 2, \ldots, n. \qquad (2)$$

Задача составления графика снабжения сводится т. о. к вычислению систем величин $x_j\geqslant 0$, $y_j\geqslant 0$ ($j=1, 2, \ldots, n$), обращающих в минимум выражение (1) при условиях (2) для каждого значения λ в диапазоне $\lambda_1\leqslant\lambda\leqslant\lambda_2$. Число вариантов плана, даже при широком диапазоне изменения λ, будет относительно невелико.

Можно указать искусств. прием, к-рый сводит задачу составления графика снабжения к задаче *линейного программирования*. В этом случае имеют дело с однопараметрич. задачей линейного программирования. Коэфф. показателя качества решения задачи зависят только от одного параметра λ. В практич. задачах может оказаться, что параметр λ меняется от этапа к этапу. Показатель качества решения таких задач записывается в виде

$$\sum_{j=1}^{n} y_j+\sum_{j=1}^{n}\lambda_j f(x_j-x_{j-1}).$$

Задача становится многопараметрической.

В рассмотренном примере варьируемый параметр содержится в показателе качества решения. Часто возникают задачи, в к-рых компоненты вектора ограничений зависят от неопредел. параметра. К такому случаю приходят, в частности, при составлении вариантов графика снабжения предприятия, в к-ром можно ожидать изменения в определ. диапазоне

плана произ-ва и, следовательно, изменения поэтапных потребностей в оборудовании. Постоянные a_j — составляющие вектора ограничений в условиях (2) — будут при этом зависеть от параметра, определяющего ожидаемые вариации плана произ-ва.

Наконец, встречаются задачи, в к-рых один или несколько, или даже все векторы условий зависят линейно или нелинейно от одного или многих параметров. В задаче производств. планирования (см. *Линейное программирование*, пример 1) технологич. коэфф. a_{ij} — затраты i-того производств. фактора при работе по j-тому способу произ-ва в течение единицы времени — могут быть связаны с различными параметрами, характеризующими технич. прогресс. Анализ вариантов плана произ-ва в ожидаемом диапазоне изменения хар-к технич. прогресса является, т. о., задачей П. п. с матрицей условий, зависящей от одного или нескольких параметров.

Завершенными (1963) можно считать лишь работы по частным классам задач параметрич. линейного программирования. Трудности в изучении влияния вариаций условий в нелинейных экстрем. задачах до сих пор не преодолены.

Отработанными и пригодными к практич. использованию можно считать методы решения следующих частных задач линейного П. п.: 1) задачи, в к-рых коэфф. линейной формы линейно зависят от одного параметра; 2) задачи, в к-рых составляющие вектора ограничений линейно зависят от одного параметра; 3) задачи, в к-рых составляющие одного из векторов условий линейно зависят от одного параметра.

Теоретич. работы по линейному П. п. относятся также к случаям, когда линейная форма задачи зависит от двух или большего числа параметров. Задача, в к-рой все пост. матрицы условий, линейной формы и вектора ограничений зависят от времени, сводится к решению систем неравенств (вообще говоря, нелинейных), вытекающих из критерия оптимальности решения задачи линейного программирования. Еще более трудоемка задача П. п., постоянные к-рой зависят от неск. параметров.

К проблемам П. п. примыкает анализ маргинальных значений задач линейного программирования. В работах по этому вопросу изучается скорость изменения оптим. значения линейной формы при варьировании элементов матрицы условий, коэфф. линейной формы и составляющих вектора ограничений. Осн. результат, полученный в этом направлении применительно к случаю, когда задачи двойственной пары имеют единств. решение, может быть сформулирован в виде следующих соотношений:

$$\frac{\partial L^*}{\partial b_i}=y_i^*;\ \frac{\partial L^*}{\partial c_j}=x_j^*;\ \frac{\partial L^*}{\partial a_{ij}}=-x_j^* y_i^*;$$
$$i=1, 2, \ldots, m;\ j=1,2, \ldots, n.$$

Здесь a_{ij} — элементы матрицы условий; b_i — составляющие вектора ограничений; c_j — коэффициент линейной формы; L^* — оптим. значение линейной формы задачи линейного программирования; x_j^* и y_i^* — компоненты оптим. планов прямой и двойственной задач линейного программирования соответственно.

Лит.: Гасс С., Линейное программирование, пер. с англ., М., 1961; Gass S., Saaty Th., The computational algorithms for the parametric objective function, «Naval Res. Logistics Quart.», 1955, v. 2, № 1—2, p. 39—45.

Д. Б. Юдин.

ПАРАМЕТРОН (parametron; paramètron; Parametron) — схема, построенная на использовании параметрич. возбуждения колебаний, обладающая двумя (при мягком возбуждении) или тремя (при жестком возбуждении) осн. устойчивыми состояниями.

П. представляет собой нелинейный резонансный контур, настроенный на частоту f, параметры нелинейного элемента к-рого (индуктивность или емкость) периодически изменяются с частотой $2f$ (частотой подкачки) под воздействием внешнего источника переменной эдс (при наличии пост. смещения).

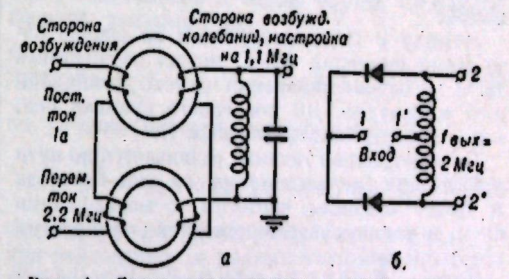


Рис. 1. Схема параметрона: *а*—индуктивного; *б*—емкостного.

На рис. 1, *а* дана схема П. с нелинейными индуктивностями, образованными вторичными обмотками двух ферритовых торов. Благодаря встречному соединению обмоток колебания с частотой подкачки $2f$ уничтожаются. На рис. 1,*б* дана схема П. с нелинейной емкостью, в качестве к-рой обычно используются ПП диоды.

П. широко применяются в качестве элементов ЦВМ и автоматики. На основе П. могут быть построены все/осн. цифровые элементы.

На рис. 2 показана схема задержки, представляющая собой каскадное соединение П.,

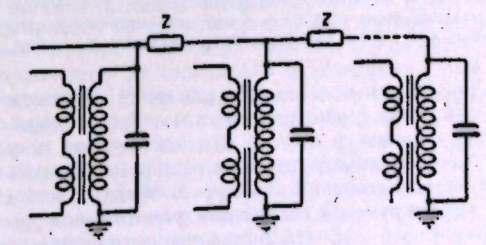


Рис. 2. Линии задержки на параметронах.

связанных между собой сопротивлением. Возбуждение подается на П. поочередно, и импульс, поданный на вход линии, смещается вправо. Такая схема может быть использована как регистр.

Логич. элементы на П. строят на основе принципа мажоритарности: если из 3 соединенных вместе П. большинство колеблется с фазой 0, то на выходе будет также иметь место колебание с фазой 0.

На рис. 3, *а* показаны схемы «и» и «или», построенные на П. В схеме совпадений (схема «и») P_x, P_y — параметроны, запоминающие логич. переменные, P_0 — параметрон, запоминающий всегда только 0. Эти три П. одинаковой мощности через полные сопротивления Z связаны с параметроном P_d (на схеме не обозначен). Если на P_d подается подкачка, причем фа-

за соответствует 1, получим схему совпадения, поскольку колебания будут поддерживаться, если P_x и P_y колеблются с фазой, соответствующей 1. В случае, если P_0 заменить параметроном P_1, находящимся в состоянии 1, получим схему несовпадений (схема «или»). В этом случае при подаче 1 на P_x или P_y получим 1 на P_d. Логическое отрицание в параметронной схеме достигается изменением фазы колебаний.

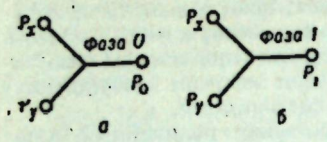


Рис. 3. Структурная схема логич. ячейки: *а*—схема совпадений (ячейка «и»); *б*—схема несовпадений (ячейка «или»).

Наряду с П., действующим на основе изменения значения фазы, можно осуществить П. и на основе изменения частоты, возникающей в контуре. До последнего времени осн. внимание уделялось фазовым П.

Параметронная техника развивается по пути увеличения быстродействия за счет перехода к более высоким частотам и модификации схем, а также совершенствования технологии изготовления.

Лит.: Мандельштам Л. И., Папалекси Н. Д., О параметрическом возбуждении электрических колебаний, «ЖТФ», 1934, т. 4, вып. 1, с. 5; Параметроны. Сб. статей, пер. с япон. и англ., М., 1962. *В. А. Тафт.*

ПЕНТОД (penthode; penthode; Pentode) — электронная лампа, имеющая пять электродов: катод, анод и три сетки — управляющую, экранирующую и антидинатронную, или защитную (рис. 1). Применяется для усиления напряжений НЧ, промежуточной частоты и ВЧ, генерирования колебаний и усиления мощности в широком диапазоне частот. Физ. процессы, лежащие в основе П., те же, что и у *триода*. В конструктивном отношении П. есть усовершенствованный *тетрод*. Между анодом и экранирующей сеткой для уничтожения динатронного эффекта помещена антидинатронная сетка, к-рая, имея нулевой потенциал (обычно она соединяется с катодом), значительно снижает потенциал между анодом и экранирующей сеткой. В пространстве между анодом и защитной сеткой создается поле, тормозящее движение вторичных электронов от анода к экранирующей сетке, вследствие чего анодная хар-ка П. не имеет провала (рис. 2). Важнейшие статич. параметры связаны ур-нием $\mu = SR_i$. Для различных типов ВЧ П. с подогревным катодом крутизна хар-ки S достигает значений 5—10 *ма/в*, внутреннее сопротивление R_i=1—2 *Мом*, коэфф. усиления μ — неск. тысяч. В лампах этого класса отношение крутизны характеристики к емкости анод—управляющая сетка увеличено до значений 1000—1600 *ма/в·пф*, что позволяет повысить усиление без опасности самовозбуждения лампы за счет обратной связи через междуэлектродную емкость анод — управляющая сетка и получается благодаря хорошему экранированию последней с помощью густой сетки и спец. экранов. В результате емкость анод—управляющая сетка снижается до 0,003—0.006 *пф*. Схема усилит. каскада на П. дана на рис. 3.

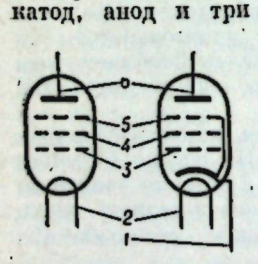


Рис. 1. Схема пентода: *1* — подогревный катод; *2* — катод прямого накала или подогреватель; *3* — первая (управляющая) сетка; *4* — вторая (экранирующая) сетка; *5* — третья (антид. натронная) сетка; *6* — анод.

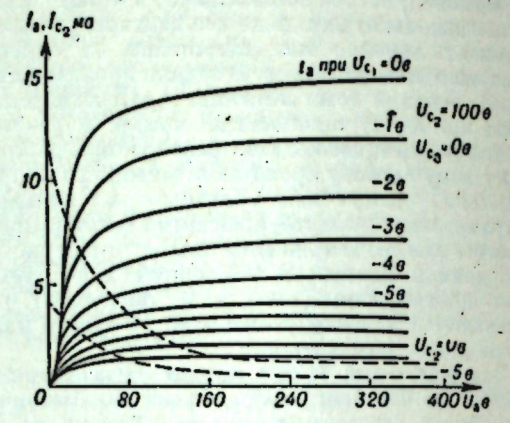


Рис. 2. Анодные хар-ки пентода: I_a, U_a — ток и напряжение анода; I_{c_2}, U_{c_2} — ток и напряжение второй сетки; U_{c_3} — напряжение третьей сетки.

НЧ П. отличаются от ВЧ более простой конструкцией электродов (спец. экранировки нет, экранирующая сетка менее густая). Коэфф. усиления равен 150—600, крутизна характеристики 10—13 *ма/в*, внутреннее сопротивление 20—100 *ком*. Кпд П. как усилителя мощности может быть больше, чем у оконечного триода, но вследствие искажений качество усиления у П. хуже.

С целью уменьшения габаритов и стоимости аппаратуры ВЧ и НЧ П. иногда изготовляют в виде комбинированных ламп, помещая в один баллон с пентодом еще один или два диода или триод [диод-пентод, двойной диод-пентод (рис. 4), триод-пентод и т. д.]. Для целей широкополосного усиления разработаны специальные широкополосные П.— ВЧ и выходные. Определяющим параметром ВЧ широкополосного П. является коэфф. широкополосности γ — отношение крутизны хар-ки к сумме входной и выходной емкостей лампы [$\gamma = S/(C_{вх} + C_{вых})$ *ма/в·пф*]. Стремлением получить возможно больший коэффициент широкополосности объясняются особенности конструкции этих ламп: малые междуэлектродные расстояния (до 40 *мк*), уменьшенные поверхности электродов, очень тонкая (до 8 *мк*) проволока управляющей сетки и т. д. γ достигает значений 1,5—1,6 *ма/в·пф*, крутизна хар-ки 17—28 *ма/в*. Выходной широкополосный П. является спец. типом НЧ П. и используется обычно для усиления напряжения. Для усиления в более широкой полосе частот необходим также больший γ. Величина проходной емкости в этих П. может быть больше, чем в ВЧ широкополосных П., но меньше, чем в НЧ П. (0,06—0,07 *пф*). Крутизна хар-ки достигает 10—15 *ма/в*, γ = =0,6—0,7 *ма/в·пф*.

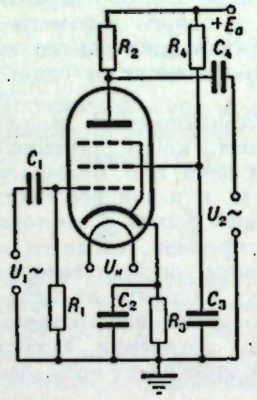


Рис. 3. Схема усилит. каскада на пентоде: C — емкость; R — сопротивление; U_1 — усиливаемое напряжение; U_2 — усиленное напряжение; $U_н$ — напряжение накала; E_a — напряжение источника питания анода.

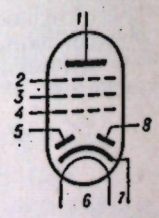


Рис. 4. Схема двойного диод-пентода: *1* — анод пентода; *2* — третья (антидинатронная) сетка; *3*—вторая (экранирующая) сетка; *4* —первая (управляющая) сетка; *5* —анод первого диода; *6*—подогреватель; *7*—катод; *8*—анод второго диода.

Одним из способов повышения широкополосности является создание ламп с катодной сеткой, у к-рых, в отличие от обычных ламп, между катодом и управляющей сеткой помещена т. н. катодная сетка, имеющая небольшой положит. потенциал (неск. *в*). С помощью этой сетки удается повысить γ до 2,2 *ма/в·пф* при достаточно больших междуэлектродных расстояниях и легко осуществимых толщинах проволоки сетки. Др. способ увеличения широкополосности ламп заключается в использовании *вторичной эмиссии* электронов. В этом случае электронный поток, испускаемый катодом и управляемый при помощи сетки, направляется на спец. электрод, с к-рого под действием электронной бомбардировки выбиваются вторичные электроны. Крутизну хар-ки удается повысить до 25 *ма/в*.

Особым типом конструкции являются прямонакальные стержневые П. В них вместо обычных навитых сеток помещены металлич. стержни круглого и профилированного сечения, расположенные симметрично относительно катода (рис. 5). При соответствующем соотношении сечений стержней и расстояний между ними поле этих электродов эффективно управляет электронным потоком, идущим от катода. Внешнее конструктивное оформление этих ламп такое же, как у обычных стеклянных сверхминиатюрных радиоламп. Для стержневых ламп характерно: хорошее соотношение между анодным током и током экранирующей сетки, малый уровень внутриламповых шумов (около 6 *ком*), относительно высокое входное сопротивление (25—60 *ком* на частоте 100 *Мгц*), резкое увеличение сеточного тока при заходе в область положит. напряжений на управляющем электроде, неравномерность токоотбора с различных участков катода, повышенные значения микрофонного эффекта.

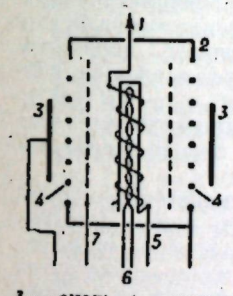


Рис. 5. Схематическое устройство ВЧ пентода: *1* — управляющая сетка; *2* — экран; *3* — анод; *4* — антидинатронная сетка; *5* — катод; *6* — накал; *7* — экранирующая сетка.

Направления работ по совершенствованию П.: повышение долговечности и устойчивости к мех. и климатич. воздействиям, миниатюризация и повышение экономичности, улучшение ВЧ свойств и повышение широкополосности путем совершенствования существующих конструкций и технологии производства, а также путем разработки новых, в частности металлокерамич. конструкций, напр. пувисторов — ламп без стекла и слюды с консольным креплением цилиндрич. электродов.

Лит.: Власов В. Ф., Электронные и ионные приборы, 3 изд., М., 1960; Гаюнов В. И., Электроника, ч. 2, М., 1960. *И. Н. Посысаев.*

ПЕРВОГО ПРИБЛИЖЕНИЯ МЕТОД (first approximation method; méthode de première approximation; Methode der ersten Annäherung) — метод, позволяющий приближенно находить решения или оценивать св-ва решений сложной нелинейной системы дифференц. ур-ний, описывающих динамику физ. системы по более простой системе дифференц. ур-ний, полученной из первой. А. М. Ляпунов разработал методы исследования устойчивости САР, описываемой в общем случае ур-ниями возмущ. движения вида:

$$\frac{dx_k}{dt} = X_k(x_1, x_2, \ldots, x_n);\ k = 1,2,\ldots,n, \qquad (1)$$

по ур-ниям первого приближения:

$$\frac{dx_k}{dt} = a_{k1}x_1 + a_{k2}x_2 + \ldots + a_{kn}x_n. \qquad (2)$$

Система ур-ний (2) получается из системы (1) при разложении ее правых частей в ряд Тейлора и отбрасывании членов, порядка малости выше первого. Ляпунов показал, что надо рассматривать два случая: 1) Некритический — среди корней характеристич. ур-ния системы:

$$D(\lambda) = \begin{vmatrix} a_{11}-\lambda; & a_{12}; & \ldots; & a_{1n} \\ a_{21}; & a_{22}-\lambda; & \ldots; & a_{2n} \\ \ldots & \ldots & \ldots & \ldots \\ a_{n1}; & a_{n2}; & \ldots; & a_{nn}-\lambda \end{vmatrix} = 0 \qquad (3)$$

нет нулевых. В этом случае вопрос об устойчивости возмущ. движения полностью разрешается на основании исследования ур-ний первого приближения. 2) Критический — среди корней характеристич. ур-ния системы имеется по крайней мере один нулевой. В этом случае для определения устойчивости возмущ. движения системы исследования ур-ний первого приближения недостаточно. Ур-ниями (2) пользуются не только для определения устойчивости САР, но и для оценки качества переходных процессов в них. Наибольшее развитие и распространение П. п. м. получили для определения периодич. решений нелинейных систем дифференц. ур-ний. Так, *малого параметра методы* позволяют находить периодич. движения в нелинейных САР.

Зная периодич. решение для упрощенной системы, можно, пользуясь методами последоват. приближения, находить уточненные решения системы. Напр., *асимптотические методы* позволяют приближенно находить решение нелинейной системы дифференц. ур-ний с малым параметром в виде формальных, т. н. асимптотических, разложений в ряды по степеням малого параметра $x_k = x_{k0} + \mu x_{k1} + \mu^2 x_{k2} + \ldots$. Асимптотич. методы позволяют для систем, близких к линейным, определять не только установившиеся периодич. колебания, но и переходный процесс. Крылов и Боголюбов положили начало развитию методов гармонич. линеаризации нелинейностей (см. *Линеаризация гармоническая*), гармонич. и энергетич. балансов, широко применяемых при исследовании нелинейных САР. Все эти методы исходят из предположения, что в первом приближении рассматриваемые колебания в системе

можно считать по форме почти синусоидальными. В основе метода гармонич. линеаризации нелинейностей при принятых предположениях лежит возможность представить нелинейный элемент, заданный ф-цией:

$$y=F(x,\ \dot{x}), \qquad (4)$$

в «линеаризованном» виде

$$F(x,\dot{x})\approx q(a,\ \omega)\,x+q_1(a,\ \omega)\,\dot{x}, \qquad (5)$$

где q и q_1 — ф-ции амплитуды и частоты искомых колебаний в системе [см. *Адмитанц (импеданц) эквивалентный*]. На методе гармонич. линеаризации нелинейностей основан метод гармонич. баланса, позволяющий перенести принципы исследования линейных систем на отыскание периодич. решений и исследование их устойчивости в нелинейных САР.

Лит.: Малкин И. Г., Методы Ляпунова и Пуанкаре в теории нелинейных колебаний, Л.—М., 1949; Боголюбов Н. Н., Митропольский Ю. А., Асимптотические методы в теории нелинейных колебаний, 2 изд., М., 1958; Андронов А. А., Собр. трудов, [М.], 1956; Попов Е. П., Пальтов И. П., Приближенные методы исследования нелинейных автоматических систем, М., 1960; Теодорчик К. Ф., Автоколебательные системы, 3 изд., М.—Л., 1952; Гольдфарб Л. С., Метод исследования нелинейных систем регулирования, основанный на принципе гармонического баланса, в кн.: Теория автоматического регулирования (Лекции, прочитанные на семинаре в 1951), [М.], 1951.

С. Д. Земляков.

ПЕРЕАДРЕСАЦИИ ПРИЗНАК (instruction address change mark; repère de changement d'adresse; Vorzeichen-Umadressierung) — совокупность символов в команде, определяющих необходимость и режим автоматич. изменения адресов команды. В машинах с одним индексным регистром П. п. соответствует по одному разряду на каждый адрес команды («Киев», «Урал»). При наличии неск. индексных регистров П. п. является многоразрядный код, определяющий и модифицируемый адрес и номер регистра, в к-ром находится приращение адреса (НОРК). В *групповой операции* П. п. входит в состав кода операции. Он определяет модифицируемый адрес и задает единичный шаг изменения адреса («Стрела»). *И. А. Данильченко.*

ПЕРЕАДРЕСАЦИЯ КОМАНД ЦВМ (instruction address change; changement d'adresse d'instruction; Kommando-Umadressierung) — изменение значений исполнит. адресов команд, зависящих от нек-рых параметров, при каждом изменении значения этих параметров в ходе выполнения программы. Исполнит. адреса команд могут зависеть от одного или от нескольких параметров.

Во многих машинах адреса команд, указанные в программе, перед выполнением команд подвергаются преобразованиям. Исполнит. адресами команд (в отличие от их адресов) наз. результаты упомянутых преобразований.

Группа команд, осуществляющая переадресацию по параметру i, наз. оператором переадресации по параметру i и обозначается $F(i)$. Операторы переадресации относятся к типу варьирующих операторов. Если адрес, зависящий от параметров i, j, до выполнения оператора переадресации по параметру i имел вид $a(i_1, j)$, то после однократного выполнения оператора переадресации по i он будет иметь вид $a(i_2,j)$.

Величина $h_i=a(i_2,j)-a(i_1,j)$ наз. шагом переадресации исполнит. адреса $a\ (i,j)$ по параметру i. Из ф-лы для определения шага вытекает, что $a(i_2,j)=a(i_1,j)+h_i$. Т. о., назначением оператора переадресации $F(i)$ является прибавление к значениям исполнит. адресов, зависящих от параметра i, соответствующих шагов переадресации по параметру i. Вычисление значений шагов не входит в ф-цию оператора переадресации и производится др. операторами. В общем случае шаг переадресации является величиной переменной, зависящей от нескольких параметров. Однако на практике такой случай встречается очень редко. Более распространенным является случай, когда шаг переадресации по к.-л. параметру зависит только от этого параметра. В этом случае значение исполнит. адреса $a(i,j)$, если он подвергался изменениям операторами переадресации по параметрам i и j и имел нач. значение $a(i_0,j_0)$, можно вычислить по ф-ле:

$$a\ (i,\ j)=a\ (i_0,\ j_0)+\sum_{i=i_0+1}^{i}h_i+\sum_{j=j_0+1}^{j}h_j.$$

Если исполнит. адрес зависит только от одного параметра i, то в этом случае его значение можно вычислить по ф-ле:

$$a\ (i)=a\ (i_0)+\sum_{i=i_0+1}^{i}h_i.$$

Самым распространенным является случай, когда шаг переадресации не зависит от параметров (является величиной постоянной). Тогда $\sum_{i=i_0+1}^{i}h_i=h_i(i-i_0)$. В этом случае ф-лы для вычисления значений исполнительных адресов можно представить в другом виде: для случая зависимости от одного параметра $a(i)=a(i_0)+h_i(i-i_0)$; для случая зависимости от двух параметров $a(i,j)=a(i_0,j_0)+h_i(i-i_0)+h_j(j-j_0)$. Пост. шаг переадресации по параметру часто наз. константой переадресации по параметру.

Если шаг переадресации является величиной постоянной, то необходимость в операторе вычисления шага отпадает и значение шага заносится в память машины в виде константы.

П. к. в машинах в зависимости от их конструкции может осуществляться двумя способами: переадресацией в ячейках памяти и переадресацией в УУ.

Переадресация по первому способу возможна в тех машинах, в к-рых коды команд хранятся в оперативной памяти. В этом случае производится изменение значений адресов команд, хранящихся в памяти. Для этого в системе команд машины часто предусматриваются спец. команды. К моменту выполнения изменяемой команды значения исполнит. адресов совпадают со значениями адресов этой команды, записанными в оперативной памяти.

Второй способ переадресации основан на том, что исполнит. адрес, зависящий от параметров, представляется в виде суммы двух величин, одна из к-рых — постоянная, а другая — переменная, зависящая от параметров: $a(i,j)=a_0+\varphi(i,j)$.

Значение пост. величины a_0 представляется кодом адреса команды, а значение перем. величины $\varphi(i,j)$ заносится в специально предусмотр. индексный регистр (напр., «Урал 2»). Значение адреса $a(i,j)$ команды при этом способе получается путем суммирования кода адреса команды и содержимого индексного регистра в УУ непосредственно перед исполнением команды. В ф-цию операторов переадресации в этом случае входит изменение содержимого индексного регистра, а значение исполнит. адреса, зависящего от двух параметров, можно вычислить по ф-ле:

$$a\ (i,\ j)=a_0+\varphi\ (i_0,\ j_0)+\sum_{i=i_0+1}^{i}h_i+\sum_{j=j_0+1}^{j}h_j.$$

В машинах обычно предусматривают один или несколько индексных регистров (др. название — адресные регистры), в качестве которых могут использоваться ячейки оперативной памяти. В последнем случае в систему команд машины включают спец. команду «изменение команды на содержимое ячейки». В программе такая команда ставится непосредственно перед командой, подлежащей переадресации.

Если в УУ машины предусмотрены спец. индексные регистры, то в системе команд обычно присутствуют: команда для записи числа в любой из индексных регистров и команда для изменения содержимого индексного регистра на нек-рую величину и проверки, не достигло ли содержимое индексного регистра определ. значения. Если это значение не достигнуто, то по данной команде производится передача управления команде, указанной в ее адресе, а если же достигнуто, то управление передается следующей команде программы.

Для таких машин команды, подлежащие переадресации на содержимое индексных регистров, снабжаются признаками переадресации (обычно номерами индексных регистров). В нек-рых машинах предусматривается возможность применения всех описанных способов переадресации. *А. М. Бухтияров.*

ПЕРЕВОД ЧИСЕЛ ИЗ ОДНОЙ СИСТЕМЫ СЧИСЛЕНИЯ В ДРУГУЮ (translation from one code to another; traduction d'un code dans un autre; Übersetzung von Ziffern aus einem Ziffernsystem ins andere) — совокупность приемов, с помощью к-рых по записи произвольного числа в p-ичной *позиционной системе счисления* с базой B_p получается его запись в другой q-ичной позиц. системе счисления с базой B_q.

П. ч. из о. с. с. в д. наиболее прост, если $p=q^k$, или $p^k=q$, где k — целое положит. число, причем базы обеих систем или симметричны, или не отрицательны. При $p=q^k$ П. ч. из о. с. с. в д. производят поразрядно: заменяют каждую p-ичную цифру равным ей k-разрядным q-ичным числом. Напр., восьмеричное число 72,26 переводят в двоичную систему ($p=8$, $q=2$, $p=q^3$), заменяя восьмеричные цифры равными им трехразрядными двоичными числами. Получается двоичное число 111 010, 010 110.

При $p^k=q$ для того, чтобы перевести p-ичное число, его разбивают на группы по k цифр, двигаясь при этом влево и вправо от запятой. Если самая левая или самая правая группа окажется неполной, к ней приписывают соответственно слева или справа нули, чтобы она стала полной. После этого каждую группу p-ичных цифр заменяют q-ичной цифрой, равной числу, обознач. этой группой. Напр., двоичное число 10111, 01 для перевода в восьмеричную систему счисления (с неотрицат. базой) представляют в виде (010), (111), (010), после чего получают восьмеричное число 27,2.

П. ч. из о. с. с. в д. в случае, если основания систем одинаковы, а базы различны, заключается в том, что каждая цифра исходной системы счисления, не принадлежащая результирующей системе счисления, представляется как сумма (или разность) двух цифр результирующей системы счисления. В записи числа каждую такую цифру заменяют первой из двух выбранных цифр результирующей системы счисления, а вторую из них подписывают под первой. Затем под остальными цифрами числа подписывают нули. Получается два числа, к-рые складывают (или вычитают) по правилам, принятым в результирующей системе счисления. Напр., число $1\bar{1}01$, $\bar{1}1$, записанное в *троичной системе счисления* с симметричной базой, переводят в троичную систему счисления с неотрицат. базой, считая, что цифра $\bar{1}$ равна разности цифр 0—1. При этом получают

$$\begin{array}{r} 1001{,}01 \\ -\ 0100{,}10 \\ \hline 200{,}21 \end{array}.$$

Если базы обеих систем счисления не отрицательны и $p\neq q^k$ и $p^k\neq q$, то П. ч. производится отдельно для целой и для дробной частей числа. Чтобы перевести целую часть числа, записывают q в p-ичной системе счисления. Делят по правилам, принятым в p-ичной системе счисления, целую часть на q. В остатке получают число, равное последней цифре искомой q-ичной записи. Получ. частное снова делят на q и в остатке получают число, равное предпоследней цифре q-ичной записи, и т. д. Процесс прекращают, когда в частном будет число, меньшее чем q. Это число равно первой цифре искомой q-ичной записи. Напр., десятичное число 194 переводят в пятеричную позиц. систему счисления (с неотрицат. базой) следующим образом:

194	5			
15	38	5		
44	35	7	5	
40	3	5	1	
4		2		

Искомая пятеричная запись (десятичного) числа 194 имеет вид 1234.

Для перевода дробной части числа число q записывают в p-ичной системе счисления и затем дробную часть числа умножают (по правилам p-ичной системы счисления) на q. Целая часть произведения равна первой цифре искомой q-ичной записи. Дробную часть произведения снова умножают на q. Целая часть произведения равна следующей цифре искомой q-ичной записи. Процесс прекращают либо, когда получится целое произведение, либо после того, как получат требуемое количество цифр q-ичной записи. Напр., десятичное число 0,734375 переводят в *восьмеричную систему счисления* так:

$$\begin{array}{r} 0{,}734375 \\ \times\ \ 8 \\ \hline 5{,}875000 \end{array} \qquad \begin{array}{r} 0{,}875000 \\ \times\ \ 8 \\ \hline 7{,}000000 \end{array},$$

в результате получают восьмеричную дробь 0,57. Комбинируя описанные правила, можно произвести перевод числа из любой позиц. системы в др. *И. А. Кринецкий.*

ПЕРЕДАТОЧНАЯ ФУНКЦИЯ (transfer function; fonction de transfert, transmittance; Übertragungsfunktion, komplexer Übertragungsfaktor, Verhältnis der Laplacetransformierten Ausgangszeitfunktion zur Eingangszeitfunktion) — отношение преобразования Лапласа $Y(s)$ выходной величины $y(t)$ линейной динамич. системы (звена) к преобразованию Лапласа $X(s)$ ее входной величины $x(t)$ при нулевых начальных условиях: $K(s)=\frac{Y(s)}{X(s)}$. П. ф. устойчивых динамич. систем с сосредоточ. параметрами обладают основными св-вами:

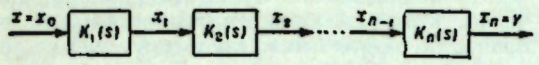


Рис. 1.

1) П. ф. есть дробно-рациональная ф-ция, причем степень числителя не превышает степени знаменателя; 2) все коэфф. П. ф. вещественны; 3) невеществ. нули и полюсы П. ф. комплексно сопряжены; 4) все полюсы П. ф. расположены в левой полуплоскости (условие устойчивости).

П. ф. удобна для составления ур-ний и исследования линейных САР. Если $K(s)=\frac{R(s)}{S(s)}$, где $R(s)$ и $S(s)$ — многочлены, то $S(s)=0$ является характеристич. ур-нием системы. П. ф. системы выражается через П. ф. отдельных ее звеньев. П. ф. разомкнутой системы, состоящей из ряда последовательно соединенных звеньев (рисунок 1), равна произведению П. ф. всех звеньев $K(s)=K_1(s)K_2(s)\ldots K_n(s)$. П. ф. параллельного соединения звеньев (рис. 2) равна сумме П. ф. звеньев $K(s)=K_1(s)+K_2(s)+\ldots+K_n(s)$. П. ф. замкнутой системы $K_3(s)$ связана с П. ф. разомкнутой системы $K(s)$ соотношением: $K_3(s)=\frac{K(s)}{1+K(s)}$ (рис. 3). П. ф. звена, охваченного обратной связью (рис. 4), имеет вид: $K(s)=\frac{K_1(s)}{1\pm K_1(s)K_2(s)}$, где знак «+» соответствует отрицат., а «—» положит. обратной связи. Если к системе приложено неск. внешних воздействий, то она имеет различные П. ф. по отношению к каждому из воздействий. Под П. ф. ошибки системы $K_1(s)$ понимают отношение преобразования Лапласа ошибки системы к преобразованию Лапласа управляющего воздействия.

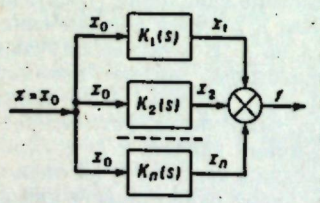


Рис. 2.

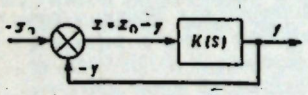


Рис. 3.

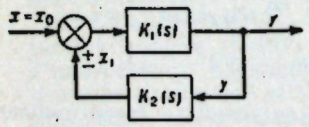


Рис. 4.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954.

А. И. Тейман.

ПЕРЕДАЧА НА ОДНОЙ БОКОВОЙ ПОЛОСЕ ЧАСТОТ (однополосная модуляция, ОПМ) (sideband transmission; transmission sur une fréquence latérale unique; Einseitenbandübertragung) — вид связи, при котором информация передается с помощью амплитудной модуляции (АМ) *несущей частоты*, с последующим затем подавлением в выходных цепях передатчика несущей и одной боковой полосы частот АМ колебаний. На приемном конце линии связи переданная информация выделяется путем восстановления подавленной несущей либо с помощью вспомогат. гетеродина, либо с помощью спец. пилот-сигнала. Системы ОПМ обладают рядом достоинств и преимуществ, выгодно отличающих их от др. систем АМ и ЧМ: 1) Значительный (до 16 раз) выигрыш по излучаемой мощности за счет более рационального использования мощности передатчика в диапазоне рабочих частот (при том же эффекте на приемном конце). 2) Уменьшение полосы передаваемых частот в два раза (при том же качестве воспроизведения), что позволяет более рационально использовать диапазон рабочих частот и обеспечивает на приемном конце выигрыш в отношении сигнал/шум в $\sqrt{2}$ раз. 3) Значительное сокращение расхода энергии, потребляемой мощными каскадами передатчика. 4) Невозможность приема однополосного сигнала на обычный АМ приемник, что повышает скрытность передачи.

Основные технич. трудности при разработке систем с ОПМ: подавление несущей и боковой полосы частот в передатчике и создание высокостабильных (с относит. стабильностью порядка 10^{-6}) кварцевых гетеродинов в приемнике. Напр., требуемая точность номинала восстанавливаемой несущей частоты в КВ приемнике составляет ± 50 *гц* (при частоте гетеродина неск. *Мгц*); большее отклонение приводит к сильному искажению тембра речевой передачи. К числу методов ОПМ относятся: метод последовательной балансной модуляции; методы многофазной модуляции (фазокомпенсации) и др. Области применения ОПМ: дальняя связь в диапазоне КВ, дальняя самолетная радиотелефонная связь, военная радиотелефонная связь между подвижными объектами. Разработаны многоканальные системы дальней связи, использующие ОПМ в диапазоне УКВ.

Лит.: Модель З. И., Радиопередающие устройства, [3 изд.], М., 1961.

И. А. Стрельцов.

ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ ВЕРНОСТЬ (fidelity of information transmission; exactitude de transmission de l'information; Genauigkeit der Informationsübertragung) — степень соответствия принятого сообщения (сигнала) переданному. Количеств. мера П. и. в. может выбираться по-разному в зависимости как от характера сообщений (сигналов), так и от причин, порождающих различие между принятым и переданным сообщениями (сигналами). Во-первых, это различие может быть обусловлено искажениями, зависящими от известных св-в тракта передачи, выраженных теми или иными хар-ками. Во-вторых, принятое сообщение (сигнал) может отличаться от переданного вследствие действия случайных *помех*.

В первом случае П. и. в. может характеризоваться количественно через величину искажений. Так, при наличии линейных искажений верность выражается чаще всего через допуски на уклонение амплитудно-частотных или фазово-частотных хар-к реального тракта от идеальных хар-к; при нелинейных искажениях верность характеризуют обычно через относит. величину продукта нелинейности при данном способе испытания (напр., через коэфф. гармоник при синусоидальном испытат. сигнале).

Во втором случае, т. е. когда П. и. в. нарушается помехой, количеств. мера верности имеет вероятностный характер. Если сообщение (сигнал) дискретно, т. е. состоит из отдельных символов, то в качестве простейшей количеств. хар-ки П. и. в. может быть взята любая убывающая ф-ция вероятности ошибки, т. е. события, состоящего в том, что при приеме действительно переданный символ вследствие действия помехи заменяется к.-л. другим. Так, в качестве меры П. и. в. можно взять отрицательный логарифм вероятности ошибки (определенную подобным образом величину наз. также надежностью, достоверностью). Эта хар-ка, однако, достаточна только при условии, что ошибки могут считаться независимыми. В реальных каналах часто наблюдаются зависимые, в частности серийные, ошибки (пакеты ошибок). При этом приходится вводить вероятности пакетов, учитывать распределение длин пакетов, интервалов между ними и т. п.

Если сообщение (сигнал) представляется непрерывной ф-цией непрерывного аргумента, то можно ввести ср. отклонение принятого сообщения от переданного (квадратичное или абсолютное) и в качестве меры П. и. в. принять вероятность того, что это отклонение не превзойдет нек-рой наперед заданной величины.

Если распределение вероятностей для сигнала и аддитивной помехи известны, то для количеств. определения верности часто пользуются хотя и косвенной, но удобной хар-кой — *отношением сигнал/помеха*, т. е. отношением ср. мощностей сигнала и помехи; эта хар-ка особенно часто применяется при непрерывной помехе с нормальным распределением и широким спектром (*шум белый*).

А. А. Харкевич.

ПЕРЕДАЮЩАЯ ТЕЛЕВИЗИОННАЯ ТРУБКА (transmitting television tube; tube transmetteur de télévision; Bildaufnahmeröhre) — электроннолучевой прибор, преобразующий оптич. изображение в электрич. телевиз. сигналы. По принципу преобразования П. т. т. различают: без накопления (диссектор) и с накоплением заряда. Последние подразделяются на трубки с накопителями: фотоэмиссионным (иконоскоп, ортикон), вторичноэлектронным (супериконоскоп, суперортикон), фотопроводящим (видикон) и наведенной проводимости (ибикон). Проблема телевидения практически решена при помощи трубок с накоплением заряда, поэтому приводим сведения гл. обр. об этих типах П.т.т.

Диссектор. При сплошном фотокатоде (рис. 1, *а*) оптическое изображение проецируется на него со стороны вторичноэлектронного умножителя, для чего последний смещается в сторону относительно оси колбы. На полупрозрачный фотокатод (рис. 1, *б*) изображение проецируется непосредственно через торцевую планшайбу колбы. При освещении фотокатода, благодаря фотоэлектронной эмиссии, вблизи него создается электронное изображение, в к-ром плотность распределения электронов соответствует распределению света и теней в самом оптич. изображении. Под влиянием ускоряющего электрич. поля электронное изображение в однородном магнитном поле переносится в направлении вторичного электронного умножителя. Разложение электронного изображения на отдельные элементы в трубке осуществляется за счет перемещения последнего с помощью отклоняющих катушек в двух взаимноперпендикулярных направлениях относительно входного отверстия вторичноэлектронного умножителя. Электрич. сигналы изображения снимаются с коллектора умножителя. Разрешающая сила трубки определяется размером входного отверстия вторичноэлектронного умножителя и разрешающей силой электронного изображения. Достоинством этого типа П. т. т. является линейная световая хар-ка и отсутствие к.-л.

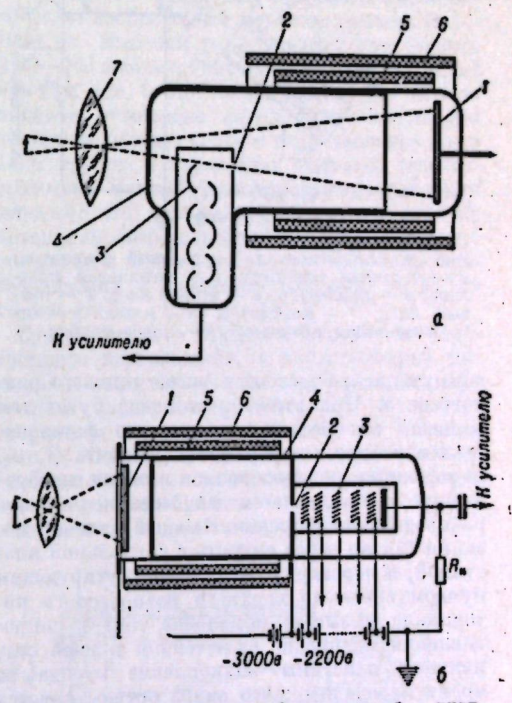


Рис. 1. Диссектор: *1* — фотокатод; *2* — вход вторичноэлектронного умножителя; *3* — вторичноэлектронный умножитель; *4* — колба трубки; *5* — отклоняющая катушка; *6* — фокусирующая катушка; *7* — объектив.

существ. паразитных сигналов, а основным его недостатком — чрезвычайно низкая чувствительность, обусловливаемая отсутствием накопления. Диссектор применяется в автоматич. системах, в частности в аппаратуре регулирования положения точечного источника света в пространстве.

Иконоскоп (рис. 2). Передаваемое изображение проецируется на фоточувствит. мозаику — слюдяную пластину, покрытую со стороны проецируемого изображения фоточувствит. мозаикой, состоящей из зерен серебра, покрытых окислом цезия и цезием. Количество зерен составляет неск. миллионов. В качестве сигнальной пластины используется сплошное металлич. покрытие обратной стороны слюдяной пластины. В отсутствие освещения мозаики коммутирующий пучок за счет вторичной эмиссии приводит последовательно потенциал всех элементов мишени к нек-рому положит. значению (верхний равновесный потенциал). Одна часть вторичных электронов отбирается ускоряющим полем коллектора, др. же часть вследствие малой собственной энергии возвращается на тот элемент,

с к-рого они были выбиты, а также на соседние элементы мозаики, снижая потенциал элементов до нек-рого более низкого значения (нижний равновесный потенциал). При освещении мозаики за счет фотоэлектронной эмиссии потенциал, созданный на элементе перед

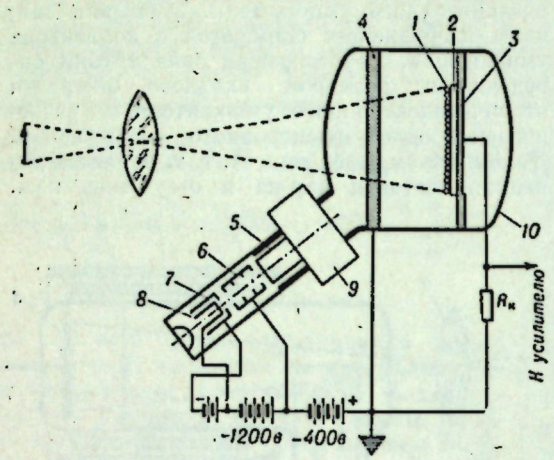


Рис. 2. Иконоскоп: *1* — мозаичный фотокатод; *2* — слюдяная пластина; *3* — сигнальная пластина; *4* — коллектор; *5* — второй анод; *6* — первый анод; *7* — модулятор; *8* — катод; *9* — отклоняющая катушка; *10* — колба трубки.

коммутацией, будет неск. выше нижнего равновесного. При этом превышение будет тем больше, чем большее количество фотоэлектронов уходит с поверхности элемента. Т. о., информация, содержавшаяся в оптич. изображении, накапливается на мозаике в виде распределения зарядов. Каждый элемент мозаики связан через емкость с сигнальной пластиной, и перезаряд элемента коммутирующим пучком снова до верхнего равновесного потенциала вызывает появление тока в сопротивлении нагрузки, включенном в цепь сигнальной пластины. Накопление заряда за время передачи одного кадра осуществляется за счет элементарных емкостей зерен мозаики относительно сигнальной пластины. Вследствие неоднородности электрич. поля над мозаикой, обусловленного расположением ее элементов по отношению к коллектору, и различия по этой причине отбора электронов в иконоскопах происходит генерирование паразитного сигнала — «черное пятно». Появление его обусловлено также тем, что взаимодействию возвращающихся вторичных электронов меньше подвергаются нижние строки и правые края строк, поскольку коммутирующий пучок при развертке скачком переносится вверх и налево. Вследствие этого количество электронов, понижающих потенциал элементов мозаики, расположенных внизу и справа, до нижнего равновесного может оказаться недостаточным. Исходный потенциал мозаики в этом месте перед коммутацией окажется более высоким, чем на элементах, расположенных на мозаике слева и вверху. Компенсация паразитного сигнала (выравнивание уровня «черного пятна») осуществляется путем введения в усилит. тракт сигналов напряжения пилообразной и параболич. форм. В связи с этим при изменении содержания передаваемого изображения в иконоскопах требуется изменение формы компенсирующих сигналов, что является одним из существ. недостатков трубки. К последним следует также отнести трапециевидное искажение растра из-за коммутации потенциального рельефа наклонным коммутирующим пучком. В телевиз. камерах с использованием иконоскопов, вследствие особенности их конструкции, не могут быть применены светосильные короткофокусные объективы. Иконоскопы удовлетворительно работают при освещенностях 5000—10000 *лк*. Однако, несмотря на низкую чувствительность, паразитный сигнал и др. иконоскопы обладают достаточно высоким отношением сигнал/шум, высокой разрешающей способностью, хорошо передают градации яркости, что позволяет их использовать в аппаратуре телевиз. вещания для передачи кинофильмов.

Ортикон (рис. 3). Мишенью служит пластина из боросиликатного стекла толщиной около 0,1 *мм*. На ее поверхности, обращенной к термокатоду, наносится в виде изолированных зерен серебряно-висмутовый фотокатод. Др. сторона мишени покрыта полупрозрачным металлич. слоем, являющимся сигнальной пластиной. Вблизи мишени располагается тормозящий электрод, обеспечивающий коммутацию потенциального рельефа мишени пучком медленных электронов. Во избежание расфокусировки коммутирующего пучка в ортиконе используется однородное фокусирующее магнитное поле. При проецировании изображения за счет фотоэлектронной эмиссии на мишени создается потенциальный рельеф в соответствии с распределением света и теней в изображении. При коммутации мишени потенциал любого элемента ее доводится от исходного, обусловленного действием накопления,

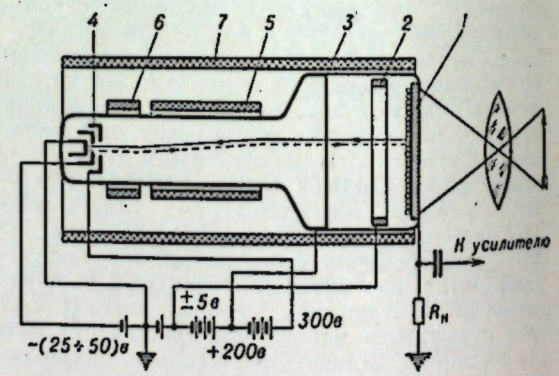


Рис. 3. Ортикон: *1* — мозаичный фотокатод; *2* — тормозящий электрод; *3* — коллектор; *4* — электронный прожектор; *5* — отклоняющая катушка; *6* — корректирующая катушка; *7* — фокусирующая катушка.

до нижнего равновесного, близкого к потенциалу термокатода. Процесс накопления, осуществляемый в результате фотоэмиссии, приводит к повышению потенциала от нижнего равновесного до нек-рого более высокого, зависящего от количества наконл. зарядов. Одинаковые условия образования потенциального рельефа в различных участках мишени и отсутствие перераспределения фотоэлектронов и вторичных электронов на др. элементы мишени приводят к тому, что в ортиконах практически полностью отсутствует «черное пятно». Ортиконы сравнительно с иконоскопами имеют в 10—20 раз большую чувствительность. Существ. недостатки ортикона: малый динамич. диапазон рабочих освещенностей и нестабильная работа трубки при попадании в поле зрения ярких объектов.

В супериконоскопе (иконоскоп с переносом изображения), в отличие от иконоскопа, накопление заряда на мишени происходит благодаря вторичной электронной эмиссии, вызываемой быстрыми электронами (рис. 4). Спроецированное на полупрозрачный сплошной фотокатод (сурьмяно-цезиевый с интегральной чувствительностью 40—50 *мка/лм* или многощелочной с интегральной чувствительностью 80—100 *мка/лм*) световое изображение вызывает появление электронного

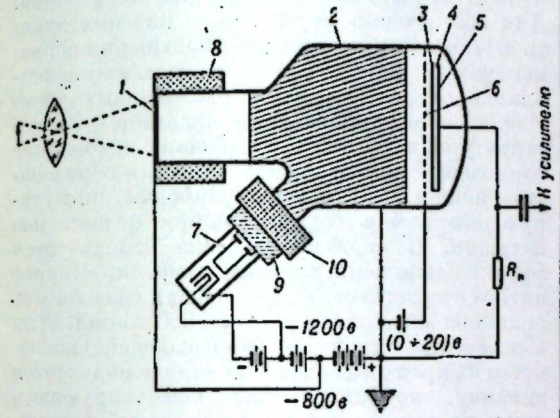


Рис. 4. Супериконоскоп: *1* — фотокатод; *2* — коллектор; *3* — мишень; *4* — слюдяная пластина; *5* — сигнальная пластина; *6* — выравнивающая сетка; *7* — электронный прожектор; *8* — фокусирующая катушка электронного изображения; *9* — фокусирующая катушка коммутирующего пучка; *10* — отклоняющая катушка.

изображения, к-рое под действием электрич. и магнитного полей переносится и фокусируется на поверхность мишени. Ввиду неоднородности магнитного поля при переносе имеет место увеличение электронного изображения, а также нек-рый поворот его относительно оси трубки. В существующих трубках напряженность магнитного поля катушки переноса выбирается такой, чтобы поворот электронного изображения был в пределах 45°. В качестве мишени используется тонкая слюдяная пластина, одна сторона к-рой, в отличие от иконоскопа, покрывается сплошным слоем материала, имеющего значит. коэфф. вторичной эмиссии (4—6). Потенциальный рельеф получается точно так же, как и в иконоскопе, с той лишь разницей, что роль света играют здесь электроны переносимого электронного изображения, а роль фотоэлектронной эмиссии — вторичная электронная эмиссия. Явления, происходящие на мишени трубки при коммутации потенциального рельефа пучком быстрых электронов, во многом аналогичны тем, к-рые имеют место на мозаике иконоскопа. Сигналы изображения образуются благодаря изменению числа вторичных электронов, покидающих мишень и попадающих на коллектор. Супериконоскопам также свойственно «черное пятно», обусловливаемое неодинаковым отбором вторичных электронов в различных участках мишени. Однако, если ввести секции переноса изображения и увеличить эффективность накопления заряда, паразитный сигнал становится значительно меньшим, а при больших освещенностях на фотокатоде — малозаметным. Компенсация его в супериконоскопах производится путем введения в усилит. тракт сигналов спец. формы. Устранение «черного пятна» возможно при использовании дополнит. фотокатода, наносимого на колбу трубки вблизи мишени и освещаемого спец. лампочками, и выравнивающих электродов, также располагаемых вблизи мишени. Изменяя яркость свечения лампочек и напряжение на выравнивающих электродах, при облучении поверхности мишени потоком медленных электронов и обеспечении одинаковых условий отбора вторичных электронов коллектором, в этих трубках, за счет приведения нижнего потенциала всех элементов мишени до нижнего равновесного, паразитный сигнал практически отсутствует. Супериконоскопы сравнительно с иконоскопами имеют на порядок большую чувствительность и способны передавать хорошего качества изображения при освещенности 500—1000 *лк*. Высокая разрешающая способность (600—900 линий), хорошая передача градаций яркости (до 8—10 полутонов) и достаточно высокое отношение сигнал/шум обусловили практически повсеместное использование этого вида трубок в студийных камерах телевиз. вещания. Ввиду значит. уд. сопротивления мишени, что исключает растекание зарядов потенциального рельефа, супериконоскопы используются также в аппаратуре малокадрового телевидения с временем передачи кадра до 10 минут.

Суперортикон — трубка с переносом электронного изображения, с двухсторонней мишенью, коммутацией потенциального рельефа пучком медленных электронов и внутр. вторичным электронным усилением сигнала (рис. 5). Электронное изображение, возникшее в секции переноса при проецировании на фотокатод оптич. изображения в однородном магнитном поле, переносится на мишень.

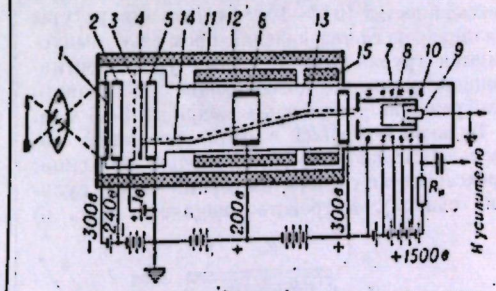


Рис. 5. Суперортикон: *1* — фотокатод; *2* — ускоряющий электрод; *3* — сетка мишени; *4* — мишень; *5* — тормозящий электрод; *6* — фокусирующий электрод; *7* — вторичный электронный умножитель; *8* — электронный прожектор; *9* — катод; *10* — коллектор вторичного электронного умножителя; *11* — фокусирующая катушка; *12* — отклоняющая катушка; *13* — коммутирующий пучок; *14* — обратный луч; *15* — корректирующая катушка.

Благодаря вторичной эмиссии на ней создается потенциальный рельеф в соответствии с распределением фотоэлектронов в электронном изображении. Узел мишени трубки представляет собой тонкую изолированную полупроводящую стеклянную пластинку толщиной 3—5 *мк*, вблизи к-рой со стороны проецируемого изображения располагается мелкоструктурная сетка. Потенциал сетки относительно термокатода составляет неск. *в*. Растекание зарядов на стороне мишени, обращенной к фотокатоду, вызывает соответствующее ему распределение положит. зарядов на стороне, обращенной к прожектору. Электроны коммутирующего пучка подходят к

мишени с малой скоростью. При коммутации мишени часть из них идет на компенсацию положит. зарядов элементов мишени и тем большая, чем больше положит. заряд элемента. Остальные электроны пучка возвращаются на анод, являющийся одновременно первым динодом вторичного электронного умножителя. Т.о., количество электронов, возвращающихся на анод, меняется в зависимости от распределения зарядов на мишени. Сигналы изображения снимаются с коллектора вторичного электронного умножителя, к-рый состоит, в зависимости от конструкции трубки, из 5—7 каскадов усиления с общим коэфф. усиления 1000. Из всех имеющихся типов П. т. т. суперортиконы наиболее чувствительны и позволяют передавать изображение при освещенностях объекта от десятых долей до единиц люкса. Чувствительность трубок в значит. степени определяется конструкцией узла мишени (расстоянием между сеткой и мишенью). Для работы при низких уровнях освещенности используются трубки с расстоянием сетка — мишень около 4 *мм*. Разрешающая способность трубок 600—1000 линий, отношение сигнал/шум доходит при достаточной освещенности до 60. Фотокатод сурьмяно-цезиевый, висмутовый или кислородно-серебряно-цезиевый. Суперортиконы широко применяются во внестудийных и студийных камерах телевиз. вещания, а также в аппаратуре пром. телевидения для наблюдения вредных для человека производств. процессов, в аппаратуре диспетчерской службы и т. д. Использование совместно с суперортиконами одного или двух каскадов усиления яркости, представляющих собой один или два оптически совмещенных электронно-оптич. преобразователей, позволяет передавать изображение при освещенностях 10^{-2}—10^{-3} *лк*. Для аппаратуры малокадрового телевидения пром-стью выпускаются трубки с повышенным уд. сопротивлением мишени, позволяющие передавать изображение с временем кадра до 1—3 мин.

Видикон — трубка с фотопроводящей мишенью (высокоомные фотопроводниковые слои: трехсернистая сурьма, аморфный селен, сульфид свинца). Устройство видикона (рис. 6)

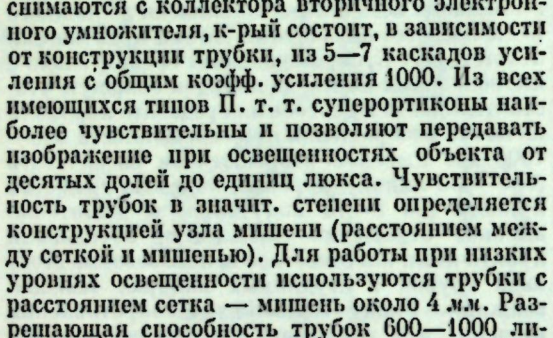


Рис. 6. Видикон: *1* — мишень; *2* — сигнальная пластина; *3* — выравнивающая сетка; *4* — второй анод; *5* — первый анод; *6* — модулятор; *7* — катод; *8* — фокусирующая катушка; *9* — отклоняющая катушка; *10* — корректирующая катушка.

и его работа, за исключением материала мишени и процесса образования на ней потенциального рельефа при проецировании изображения, во многом сходны с устройством и работой ортикона. Изображение проецируется на мишень через полупрозрачную сигнальную пластину, в цепь к-рой включено сопротивление нагрузки. Под влиянием света потенциал мишени, до этого приведенный коммутирующим пучком к потенциалу катода, постепенно, в пределах времени кадра, перераспределяется за счет внутр. проводимости в соответствии с распределением света и теней в изображении. При последующем считывании коммутирующий пучок за счет компенсации накопл. зарядов создает на нагрузочном сопротивлении электрич. сигналы изображения. Считывание в видиконе может осуществляться пучком медленных или быстрых электронов. Для обеспечения нормального падения электронов, что необходимо для уменьшения неравномерности фона, в случае считывания потенциального рельефа пучком медленных электронов, перед мишенью располагается мелкоструктурная сетка, создающая однородное тормозящее поле и препятствующая образованию ионного пятна. Фокусировка коммутирующего пучка осуществляется с помощью катушки. В видиконе хорошо используется эффект накопления световой энергии. «Черное пятно» отсутствует. Разрешающая способность видикона в центре достигает 600 линий. Для обеспечения такой же разрешающей способности на краях поля изображения используется динамич. подфокусировка коммутирующего пучка за счет подачи на разделенный фокусирующий электрод (второй анод) перем. напряжения спец. формы. Вследствие малых габаритов, простоты конструкции, высокой чувствительности, обусловленной большим квантовым выходом ПП материалов мишени, видиконы широко применяются в аппаратуре пром. и телевиз. вещания. Трубки дают хорошее изображение при освещенности порядка неск. сот *лк* и выше, однако их инерционность ограничивает применение при передаче быстроменяющихся явлений.

Ибикон. При проецировании на фотокатод оптич. изображения в секции переноса создается электронное изображение, к-рое при разности потенциалов до 20 *кв* фокусируется на мишени. За счет больших скоростей электронов электронного изображения на мишени возбуждается наведенная проводимость в соответствии с распределением освещенности на фотокатоде. В результате различной наведенной проводимости разных элементов мишени перед коммутацией на стороне, обращенной к коммутирующему пучку, создается потенциальный рельеф, аналогично тому как это происходит в суперортиконе. Ибиконы находятся на стадии лабораторных исследований; имеется сообщение, что они в 100 раз чувствительнее суперортикона и позволяют работать при освещенностях объекта порядка 10^{-2}—10^{-3} *лк* без использования предварит. усиления яркости.

Лит.: Халфин А. М., Основы телевизионной техники, М., 1955; Архангельский В. Н. и Новаковский С. В., Передающие телевизионные трубки, БСЭ, 2 изд., т. 32, М., 1955, с. 394; Гуревич С. Б., Физические процессы в передающих телевизионных трубках, М., 1958; Зворыкин В. К. и Мортон Д. А., Телевидение, пер. с англ., М., 1956.

Г. И. Куренков.

ПЕРЕЗАПИСЫВАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО (rewriting device; enregistreur-récepteur; Einrichtung zum Überschreiben) — устройство для считывания информации с одного носителя и записи ее на другой. Перезапись информации может производиться с сохранением ее расположения или с перегруппировкой ее на новом носителе. П. у. выполняются в виде автономно работающих машин. Бывают двух типов: 1) для перезаписи с одного носителя (оригинала) на другой такой же. Такие устройства наз. контрольно-считывающими (КСУ), или репродукторами. Они обычно осуществляют: а) перезапись информации с одного носителя на другой, б) перезапись с одноврем. контролем правильности переноса информации и в) контроль записи сравнением значений информации на обоих носителях. П. у. часто используются в качестве входных и выходных устройств вычислит. машин; 2) для перезаписи с одного вида носителя на др., напр. с перфокарт на магнитные ленты. В этом случае П. у. служат для подготовки информации к обработке на вычислит. машине или для расшифровки и записи результатов вычислений. Одновременно с перезаписью информации эти П. у. иногда перекодируют информацию в машинный код и обратно.

Вводные П. у. считывают информацию с первичного носителя и записывают ее на машинный носитель с одновременным перекодированием и контролем правильности считывания и записи. Выводные П. у. считывают информацию с машинного носителя, перекодируют и контролируют ее запись на первичный носитель и печатают таблицы результатов, вычисленных на ЦВМ.

Программирование П. у. осуществляется либо с помощью коммутац. досок, либо вводом и хранением программы в оперативных накопителях П. у. (машина «Эра»).

Применение П. у. в комплекте с ЦВМ дает ряд преимуществ: а) обеспечение пост. режима работы ЦВМ независимо от объемов вводимой и выводимой информации; б) совмещение ввода и вывода информации с работой машины; в) возможность предварит. подготовки и обработки информации для ее ввода и вывода независимо от ЦВМ (в т. ч. и на других, территориально удаленных предприятиях, где установлены П. у. Результаты вычисления могут быть также расшифрованы на П. у. предприятия независимо от осн. ЦВМ). Такое использование П. у. открывает большие возможности в организации централизов. обработки информации на кустовых вычислит. центрах, обслуживающих несколько предприятий.

Лит.: Сарин М. И., Стульпинас М. И., Репродуктор ПР 80-2. Конструкция и эксплуатационные свойства, М., 1962

В. Н. Рязанкин.

ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬ ЧЕТЫРЕХСЛОЙНЫЙ (four-layer switch; commutateur á quatre couches; Vierschichtumschalter) — ПП диод, имеющий *p—n—p—n-* или *n—p—n—p-* структуру. П.ч. (рис. 1) имеет две области устойчивого и одну неустойчивого состояния (область отрицат. сопротивления). Широко применяется как генератор импульсов, преобразователь тока и т. д. Отрицат. сопротивление возникает в результате процесса умножения носителей заряда, являющегося ф-цией тока и напряжения. П. ч. можно представить как совокупность двух *транзисторов* с переходами *p—n—p-* и *n—p—n*-типа, соединенными по схеме рис. 2. Такая модель дает возможность объяснить физ. процессы в П. ч. зависимостью общего коэфф. передачи тока $(\alpha_1+\alpha_2)=\alpha_0$ от тока и напряжения (α_1 и α_2 — коэфф. усиления 1-го и 2-го транзисторов); α транзистора в области малых токов возрастает с ростом тока эмиттера $I_э$, поэтому α_0 при определ. значении тока может стать $\geqslant 1$.

При подаче на П. ч. напряжения (плюс на *p*-область) через него течет малый ток, определяемый обратным током среднего перехода. При повышении напряжения ток через прибор увеличивается за счет возрастания тока утечки

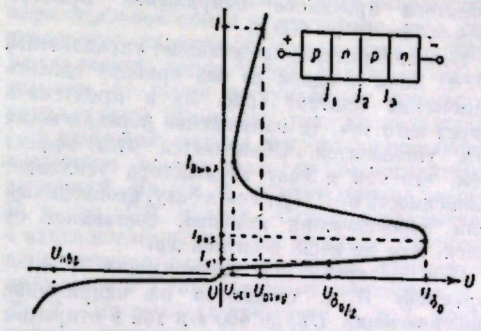


Рис. 1. Вольтамперная хар-ка четырехслойного переключателя: $I_{вкл}$ — ток включения прибора при напряжении U_{δ_0}; $I_{ут}$ — ток утечки при $U_{\delta_0}/2$; $I_{выкл}$ — ток выключения, по достижении к-рого прибор переходит в закрытое состояние; $U_{ост}$ — напряжение при токе $I_{выкл}$.

и коэфф. умножения в области объемного заряда среднего перехода. Коэфф. α_0 становится равным 1 при достижении определ. напряжения; начиная с этого момента внутр. сопротивление прибора резко падает, ток через прибор увеличивается и ограничивается лишь элементами схемы, т. е. происходит переключение

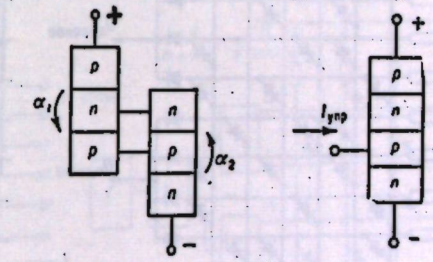


Рис. 2.

Рис. 3.

Рис. 2. Эквивалентная схема *p—n—p—n*-структуры.

Рис. 3. Схема управляемого четырехслойного переключателя.

из состояния с высоким сопротивлением в состояние с низким сопротивлением. Параметры П. ч.: напряжение переключения $U_{\delta_0}=U_{пр}(1-\alpha_1-\alpha_2)^{1/n}$, где $U_{пр}$ — напряжение пробоя среднего перехода, n — постоянная, зависящая от материала (напр., для кремния $n\approx 3$); напряжение на открытом приборе

$$U_{откр}=\frac{kT}{q}\ln\frac{I}{I^x}+R_0 I,$$

где: $I^x=\frac{I_{s_1}I_{s_2}}{I_{s_3}}\left(1-\alpha_0\right)$, k — постоянная Больцмана, T — абс. темп-ра, q — заряд электрона, I — ток через открытый прибор, R_0 — сопротивление эмиттерных областей и омич. контактов, $I_{s_1}I_{s_2}I_{s_3}$ — токи насыщения трех переходов прибора j_1, j_2, j_3; сопротивление прибора в закрытом состоянии $R_{выкл}$ — неск. *Мом*; сопротивление прибора в открытом состоянии $R_{вкл}$, определяемое в основном сопротивлением исходного

материала и омич. контактов,— от неск. единиц до десятков *ом*; время перехода из закрытого в открытое состояние $\tau_{вкл}$ — от 0,3 до 1 *мксек*; время перехода из открытого в закрытое состояние $\tau_{выкл}$ — от 2 до 15 *мксек*; обратное пробивное напряжение прибора $U_{обр}$ — от 10 до 400 *в*.

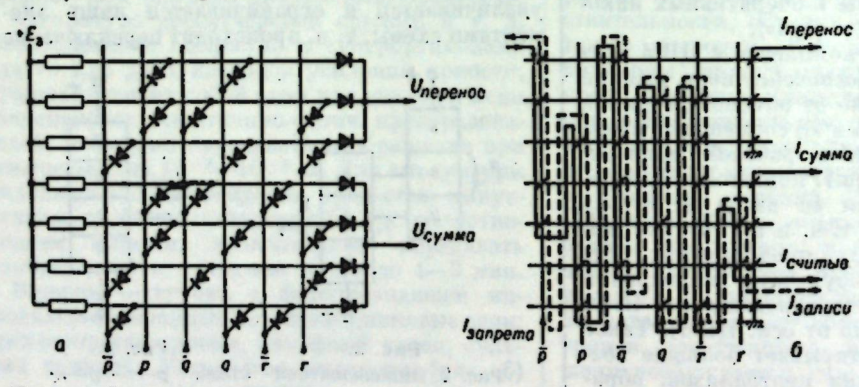
Большой интерес представляет управляемый П. ч. Если к одной из баз прибора сделать омический контакт (рис. 3) и пропускать через него ток, то напряжение переключения $Uб_0$ уменьшится. Объясняется этот эффект тем, что ток в базу транзистора усиливает зависимость $\alpha=f(I_э)$. Ток в базу, необходимый для переключения прибора, составляет от неск. *мка* до неск. десятков *ма*.

Осн. материал для изготовления П. ч. — *кремний*. П. ч. создаются на напряжение переключения $Uб_0$ до 400 *в* и ток в открытом состоянии I до 200 *а*. П. ч. является аналогом газового тиратрона, магнитного усилителя, мощного транзистора и реле.

Лит.: Полупроводниковые приборы с отрицательным сопротивлением. Сб. переводных ст., М.—Л., 1962.

Ю. Р. Лапицкий.

ПЕРЕКЛЮЧАТЕЛЬНАЯ МАТРИЦА (switching matrix; matrice de commutation; Umschaltmatrize) — бесконтактное переключающее устройство (схема) дискретного действия, имеющее n входов и m выходов, соединенных так, что определ. комбинации сигналов



Матричный сумматор на три числа: *а* — на диодах; *б* — на магнитных сердечниках.

на входах схемы однозначно соответствуют определ. комбинациям сигналов на ее выходах. Свое назв. П. м. получила по способу начертания (иногда по виду физич. конструкции) в форме пересекающихся горизонт. и вертик. шин — строк и столбцов. Частные случаи П. м. — *шифратор*, в к-ром сигнал на одном из входов схемы возбуждает одновременно неск. выходов, и *дешифратор*, в к-ром определ. комбинация сигналов на входах схемы возбуждает только один выход. П. м. (шифраторы) могут строиться с помощью сопротивлений, тр-ров, емкостей, соединяющих в выбранных пересечениях вертик. и горизонт. проводники. Активные, индуктивные и емкостные связи являются линейными, поэтому предполагается, что входные сигналы имеют дискретный (двоичный) характер, а m выходных считывающих устройств обладают резким порогом срабатывания. П. м. такого типа широко применяются в пост. ЗУ для хранения подпрограмм и констант, арифметич. и др. таблиц.

Часто в П. м. применяются нелинейные элементы: ПП диоды и триоды, магнитные сердечники с прямоугольной петлей гистерезиса. В этом случае основой П. м. являются схемы совпадения (или схемы запрета) и иногда собират. схемы, реализующие логич. законы «и» и «или» соответственно. В вычислит. технике П. м. широко применяются в преобразователях кодов (напр., для преобразования телеграфного кода в код вычислит. машины и обратно), в комбинац. сдвигателях, сумматорах и умножителях. П. м. на магнитных сердечниках используется в ЗУ для выборки адреса. На рис., *а* изображена диодная П. м. для суммирования трех двоичных переменных, к-рая реализует логич. выражения для суммы $s=p\wedge q\wedge\bar{r}+\bar{p}\wedge\bar{q}\wedge r+\bar{p}\wedge q\wedge\bar{r}+p\wedge\bar{q}\wedge\bar{r}$ и переноса $c=p\wedge q+r\wedge p\wedge q+r\wedge\bar{p}\wedge q$. Сигнал суммы на одной из четырех нижних шин появится только в том случае, если одно из входных переменных или все они одновременно равны 1; сигнал на шинах переноса — когда два или три переменных равны 1, т. е. имеют высокий уровень напряжения. Тот же сумматор на магнитных сердечниках с прямоугольной петлей гистерезиса дан на рис., *б*. Горизонт. шины изображают сердечники, а вертикальные — обмотки. Диагональные штрихи показывают, обмотки каких входных переменных нанесятся на данный сердечник; токи в этих обмотках направлены в сторону запрета считывания. Если предварительно во все сердечники записать единицы, то при подаче сигнала считывания одновременно с входными сигналами, представляющими двоичные переменные, перемагнитится тот сердечник, в обмотках к-рого нет ни одного тока запрета.

Наиболее важные параметры П. м. — быстродействие (скорость переключения) и величина отношения сигнал/помеха. Быстродействие значительно меняется в зависимости от типа используемых элементов; значение второго параметра обычно лежит в диапазоне 10—20. При дальнейшем усложнении логики ЦВМ и их микроминиатюризации П. м. будут находить еще более широкое применение.

Лит.: Мартынов Е. М., Бесконтактные переключающие устройства, 2 изд., М.—Л., 1961; «Тр. ин-та радиоинженеров» (США), рус. пер., 1961, № 1; Ричардс Р. К., Элементы и схемы цифровых вычислительных машин, пер. с англ., М., 1961.

Г. Б. Смирнов.

ПЕРЕКЛЮЧАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО (switching device; dispositif de commutation; Umschalteinrichtung) — устройство для коммутации электрич. цепей. П. у. применяются в вычислит. технике, в системах многоканального регулирования и контроля, в цифровых системах управления, в преобразователях цифро-аналогового типа и т. д. Простейшим П. у. является электромеханич. реле, исполнит. элементом которого служат механич. контакты. Более высоким быстродействием и надежностью обладают различные типы бесконтактных переключающих приборов релейного действия (*триггеры*, *мультивибраторы*,

блокинг-генераторы и т. д.), к-рые изменяют свое состояние скачком всякий раз, когда входной сигнал переходит через нек-рое пороговое значение (рис. 1). К П. у. относят также схемы, работающие с сигналами двоичной природы. Эти схемы выполняют различные

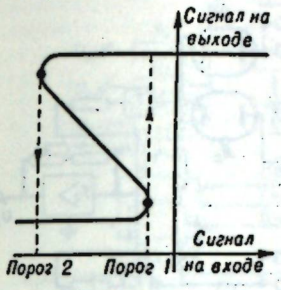


Рис. 1. Типовая хар-ка переключающей (спусковой) схемы.

логич. операции и поэтому получили назв. логических П. у. Необходимым условием для построения П. у. является нелинейная зависимость между входной и выходной величиной сигнала. Эта нелинейность создает возможность скачкообразного перехода схемы из одного устойчивого состояния в др.

Основные параметры П. у.: число каналов на входе и выходе, скорость переключения, закон или последовательность переключения. По режиму работы различают П. у. с периодич. и непериодич. режимами, а по роду действия — контактные и бесконтактные. Контактные П. у. (шаговые искатели, распределители и реле) используют при коммутации каналов, предназнач. для передачи сигналов с АМ и АИМ; бесконтактные — преимущественно при коммутации каналов, передающих

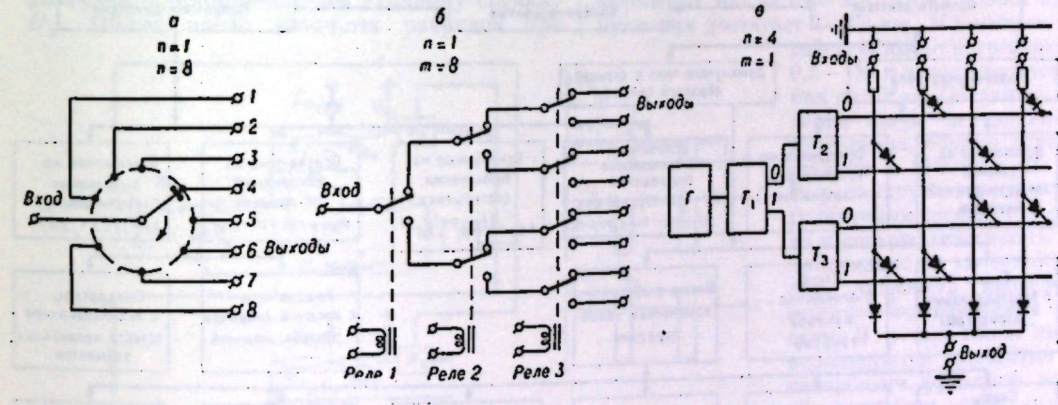


Рис. 2.

сигналы с число-импульсной, кодово-импульсной, высотно-импульсной и широтно-импульсной модуляциями. Основная причина такого разделения — относительно высокий уровень собств. шумов бесконтактных П. у. Когда применение их обязательно, стараются возможными способами повысить уровень коммутируемых сигналов.

Существуют различные схемы построения П. у.: последовательно кольцевая, пирамидальная, матричная. Наиболее просты управляемые последовательностью импульсов последовательно-кольцевые контактные П. у. на шаговых искателях, распределителях и реле, обеспечивающие скорость до 50 переключений в 1 сек. (рис. 2,*а*). Если число комбинаций переключений в реле больше двух, то необходимо применить дополнит. управляющее устройство (контактное или бесконтактное). К кольцевым схемам на бесконтактных П. у. относятся счетчики с n независимыми выходами на обычных электровакуумных и спец. лампах типа тиратрон, *трохотрон*, *декатрон* и т. д. К бесконтактным П. у. относятся широко применяемые устройства на ПП приборах и ферритовых элементах.

На рис. 2, *б* показан пример выполнения пирамидальной схемы на двухпозиц. реле для последоват. коммутации восьми каналов (m). Управляется схема тремя группами реле, сигналы на к-рые поступают от дополнит. управляющей схемы (на рис. не показана).

В цифровой технике широко применяются матричные коммутаторы на бесконтактных элементах. На рис. 2, *в* дается пример такого П. у. на ПП диодах. Схема переключает 4 входа последовательно к 1 выходу. Скорость переключения задается частотой генератора импульсов $Г$, управляющего триггерами T_1, T_2, T_3. На выходах триггеров T_2 и T_3 появляются сигналы, соответствующие коду 00, 01, 10, 11 (0 — низкий уровень, 1— высокий уровень). Этот код (уровни) управляет при помощи диодов отключением или заземлением вертикальных шин, так чтобы каждой кодовой комбинации соответствовала своя вертикальная шина. При отключении последней от земли сигнал, поступающий на нее, свободно проходит на выход. Бесконтактные П. у. обладают большим быстродействием, частота переключения их до неск. *Мгц*.

В. И. Гуков, Г. Б. Смирнов.

ПЕРЕМЕННАЯ ДЛИТЕЛЬНОСТЬ ТАКТА (variable cycle duration; durée variable de cycle; veränderliche Taktdauer) в ы ч и с л и т. м а ш и н ы — длительность такта, изменяющаяся в процессе работы машины в зависимости от выполняемой операции и участвующих в ней операндов. В синхронных машинах П. д. т. определяется УУ и не зависит от участвующих в операции операндов. Шкала длительностей устанавливается заранее и в процессе работы машины не изменяется. Для составления этой шкалы все операции машины делят на однотипные по времени выполнения группы, каждой из к-рых ставят в соответствие свой временной интервал. В качестве времени выполнения операций принимается максимально возможное для данной операции значение.

П. д. т. обеспечивается либо смещением момента окончания такта, либо изменением его временной и логич. структуры. В асинхр. машинах П. д. т. определяется тем устройством, к-рое непосредственно выполняет операцию и выдает сигнал ее завершения. Диапазон

изменения длительности такта здесь значительно шире, ибо в этом случае возможно совмещать изменение структуры такта, определяемого УУ в зависимости от типа операции, с варьированием времени выполнения каждой операции исполнит. устройством.

П. д. т. существенно повышает ср. быстродействие машин, поскольку частично (в синхр. машинах) или полностью (в асинхр. машинах) исключает непроизводительное для каждой операции время. Однако машины с П. д. т. неск. сложнее машин с пост. длительностью такта и менее удобны в наладке и эксплуатации. Для операций, время выполнения к-рых на исполнит. устройстве меньше времени обращения к ЗУ, есть смысл применять лишь структурное изменение такта (напр., исключение ненужных обращений к ЗУ). Асинхр. принцип управления целесообразно использовать лишь для тех операций, время выполнения к-рых значительно превышает время обращения к ЗУ и существенно зависит от участвующих в операции операндов. *И. А. Данильченко.*

ПЕРЕМНОЖАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО (multiplying device; dispositif multiplicateur; Multipliziereinheit) (аналоговое), множительно-делительное, множительное устройство (МУ). П. у. удобно классифицировать [1] по схеме рис. 1.

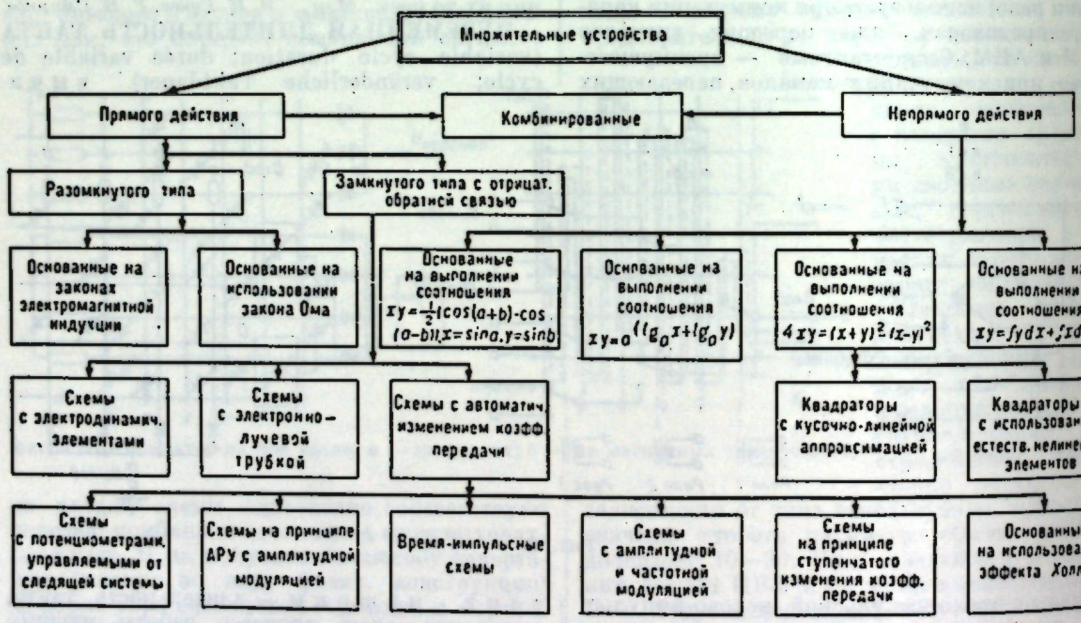


Рис. 1. Классификация перемножающих устройств.

В П. у. прямого действия операция умножения (деления) осуществляется непосредственно; в П. у. непрямого действия — в результате выполнения ряда др. математич. операций. Осн. качеств. показатели П. у.— точность и быстродействие. Наиболее распространены схемы с квадраторами [3], в к-рых произведение реализуется по ф-ле $U_xU_y=\frac{1}{4}[(U_x+U_y)^2-(U_x-U_y)^2]$ (рис. 2). За счет нелинейности вольтамперных хар-к триодов T_1 и T_2 через них в суммирующую точку решающего усилителя $У_2$ поступают токи $i_1=+k|U_x+U_y|^2$ и $i_2=-k|U_x-U_y|^2$. На выходе $У_2$ при этом устанавливается такое напряжение, чтобы ток $i_{oc}=-(i_1+i_2)=U_z\alpha$, поэтому $U_z=\frac{4k}{\alpha}U_xU_y$ (k/α — коэфф. пропорциональности). Модуль разности — $|U_x-U_y|$ образуется в схеме с помощью цепочки $Д_3$, $Д_4$, R по ф-ле — $|U_x-U_y|=-\frac{U_x+U_y}{2}+\min(U_x,U_y)$. Модуль суммы $|U_x+U_y|$ выделяется посредством диодов $Д_1$ и $Д_2$.

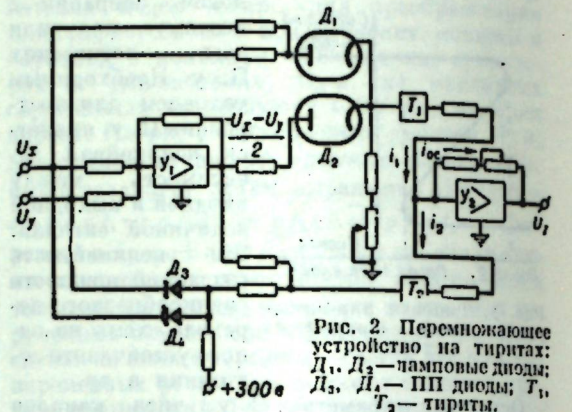


Рис. 2. Перемножающее устройство на триодах: $Д_1$, $Д_2$ — лавинные диоды; $Д_3$, $Д_4$ — ПП диоды; T_1, T_2 — триоды.

Наименьшую погрешность (0,01—0,1%) обеспечивают П. у. с проводимостями, управляемыми цифровой следящей системой (рис. 3). Величины проводимостей y_{12} и y_{21} устанавливаются (посредством реле или электронных переключающих элементов, коммутируемых реверсивным счетчиком *РС*) пропорциональными сигналу U_x. Произведение образуется в результате умножения U_y на регулируемый коэфф. передачи выходного усилителя. Предельная частота неискаж. слежения за сигналом $U_x=U_0\sin(2\pi ft+\varphi)$ при использовании двоичных счетчиков равна $f_1=f_г/\pi(2^n-1)$ (n — число разрядов счетчика, $f_г$ — частота тактовых импульсов).

Для улучшения динамич. св-в схемы применяют метод поразрядного заполнения счетчика, метод, базирующийся на использовании эффекта время-импульсной интерполяции, и метод автоматич. изменения количества разрядов счетчика. 1-й метод основан на

циклич. заполнении счетчика, начиная со старшего разряда. При этом макс. динамич. погрешность при $U_x=U_0\sin(2\pi ft+\varphi)$ меняется как $\delta U_{zm}=2\pi f(n+1)/f_г$.

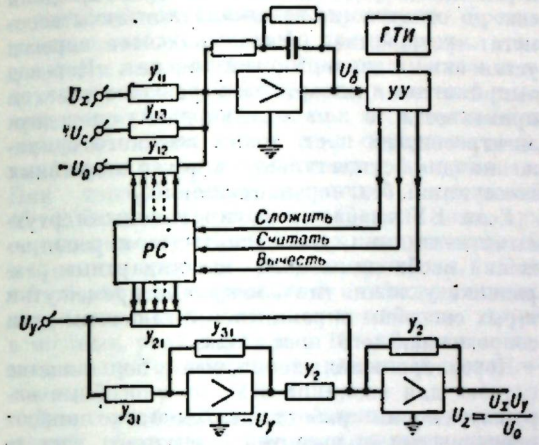


Рис. 3. Схема перемножающего устройства с проводимостями, управляемыми цифровой следящей системой: *ГТИ* — генератор тактовых импульсов; U_0 — опорное напряжение; U_c — напряжение смещения; U_δ — напряжение рассогласования следящей системы.

При использовании 2-го метода общее число разрядов счетчика уменьшают, а схему переводят в автоколебат. режим работы, при к-ром усредненные значения управляемых проводимостей пропорциональны входному сигналу U_x. Общее число двоичных разрядов при

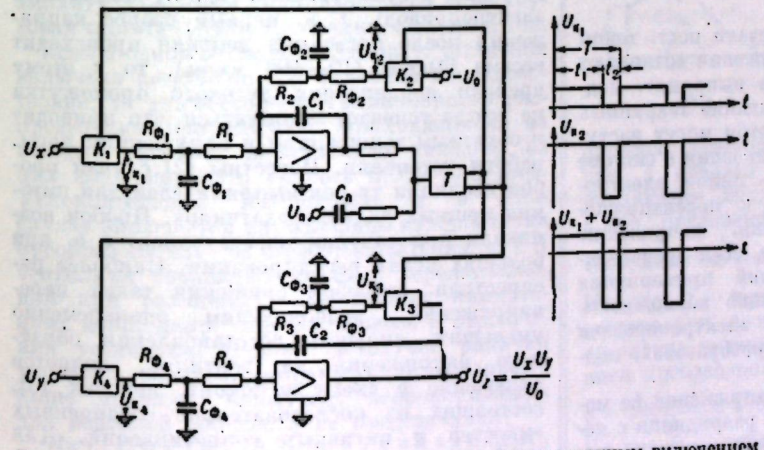


Рис. 4. Схема перемножающего устройства с комбинированным включением время-импульсных делителей: U_{k_1}—U_{k_4} — напряжение на выходах ключей; U_0 — опорное напряжение; $U_П$ — напряжение пилообразной формы.

статической точности не хуже 0,1% уменьшается до 7—8.

3-й метод заключается в последоват. отключении младших разрядов при увеличении скорости изменения входного сигнала. После отключения каждого разряда динамич. погрешность возрастает вдвое, но все же скорость нарастания этой погрешности остается меньшей, чем при использовании др. методов. При синусоид. входном сигнале макс. динамич. погрешность меняется скачками на частотах $f_i=f_г/\pi(2^{n-i+1}-1)$ ($i=1,2,\ldots,n-1$). В диапазоне частот f_i—f_{i+1} она остается постоянной и равной $\delta U_{zm}=2/(2^{n-i}-1)$. Относительно высокую точность (0,1—0,5%) обеспечивают и другие МУ с автоматич. изменением коэфф. передачи, однако их полоса пропускания обычно ограничена величиной порядка 10^3 *гц* из-за необходимости преобразования входных сигналов в более высокочастотные с последующим использованием низкочастотного фильтра. На рис. 4 дана схема время-импульсного П. у. с комбинированным включением время-импульсных делителей напряжения как во входную цепь, так и в цепь, параллельную решающему усилителю [2]. Ключи K_1—K_4 управляются в противофазе триггером T, к-рый переключается с частотой пилообразного напряжения $U_П$. Ср. значение напряжения U_{k_2} пропорционально относит. продолжительности пребывания ключа K_2 в открытом состоянии $\alpha=t_1/T$, т. е. $U_{k_2ср}=U_0\alpha$. Соответственно $U_{k_1ср}=U_x(1-\alpha)$. Напряжение U_1 устанавливается таким, чтобы $U_x(1-\alpha)/(R_1+R_{\Phi_1})=-U_0\alpha/(R_2+R_{\Phi_2})$. Для нижней части схемы будет справедливо соотношение:

$$\frac{U_z(1-\alpha)}{R_3+R_{\Phi_3}}=-\frac{U_y\alpha}{R_4+R_{\Phi_4}}.$$

При $R_1+R_{\Phi_1}=R_3+R_{\Phi_3}$ и $R_2+R_{\Phi_2}=R_4+R_{\Phi_4}$ имеем $U_z=U_xU_y/U_0$. Полоса пропускания устройства достигает 400 *гц* при погрешности 0,2%.

Схемы, основанные на различных способах модуляции сигналов, обычно сложнее время-импульсных, но т. к. частоту несущих колебаний синусоид. формы можно выбрать значит. больше частоты колебаний прямоуг. формы (от 100 до 1000 *кгц*), то их полоса пропускания достигает 1—10 *кгц*. МУ непрямого действия имеют погрешность 0,5—1% и полосу пропускания до 10^3 *гц*. Операцию деления двух независимых переменных обычно осуществляют с помощью П. у. П. у. замкнутого типа с регулируемым коэфф. передачи и логарифмические П. у. применяются в качестве делит. устройств непосредственно без изменения их схем. П. у. др. типов либо используются совместно с гиперболич. функцион. преобразователем, либо включаются в цепь обратной связи решающего усилителя (рис. 5). Нуль-орган *НО* сравнивает переменные U_y и U_zU_x. При большом коэффициенте усиления усилителя $У$ результат сравнения — ошибка $U_\delta=U_y-U_zU_x$ — стремится к нулю, поэтому $U_z\approx U_y/U_x$. Предельные возможности множительного устройства при использовании какого-либо одного принципа построения ограничены либо по точности, либо по быстродействию, поэтому, когда требуется одновременно получить высокую точность при большом быстродействии, следует применять *множительное устройство с параллельными каналами вычисления.*

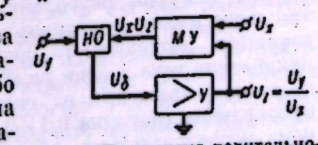


Рис. 5. Блок-схема делительного устройства.

Лит.: 1) Коган Б. Я., Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования, М., 1958; 2) Маслов А. А., Обзор и классификация множительных устройств, «АиТ», 1960, т. 21, № 10; 3) Коган Б. Я., Маслов А. А., Полонников Д. Е., Электронная аппаратура моделирования типа ЭМУ-8А, «ВАН», 1958, № 7. *А. А. Маслов.*

ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ В ВЕНТИЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ (overvoltages in valve installations; surtensions dans les installations de valves; Überspannungen in Ventilanlagen)— повышения напряжения, опасные по своей величине для изоляц. конструкций оборудования и для норм. работы вентилей. В установках с ртутными вентилями перенапряжения могут возникнуть при обрыве дуги рабочего тока, обратных зажиганиях, а также при различных эксплуатац. переключениях, необходимость осуществления к-рых в большинстве случаев диктуется нарушениями норм. работы вентилей. Внезапное прекращение выпрямл. тока (т. н. обрыв дуги) наблюдается при больших перегрузках, а также при низких темп-рах вентилей, когда давление паров ртути невелико и количество ионов недостаточно для компенсации объемного заряда. Снижение рабочего тока до нуля происходит в течение десятых долей *мксек* и сопровождается перенапряжениями на индуктивных элементах схемы. Отмечены случаи обрыва дуги после отключения тока обратного зажигания автоматами, установл. с первичной стороны питающего тр-ра [1]. В тех случаях, когда вентильная установка (ВУ) питает дуговую нагрузку (электрохимич. реакторы, плазм. генераторы и др.), обрыв дуги выпрямл. тока может быть вызван неустойчивыми режимами нагрузки.

В установках электропередачи пост. током наиболее опасные перенапряжения возникают при погасании вентилей на выпрямит. подстанции как следствие ликвидации аварийных состояний инвертора. При этом могут наступить нежелат. резонансные явления в системе преобразоват. подстанции — линия электропередачи, к-рые приводят к перенапряжениям, превышающим номин. напряжение электропередачи в 2—3 раза. Для предотвращения этих перенапряжений применяются защитные меры, исключающие возможность прекращения тока в линии электропередачи и погасания вентилей на преобразоват. подстанциях.

Для защиты ВУ от перенапряжений не могут использоваться обычные разрядники с нелинейными сопротивлениями, предназнач. для работы в сетях перем. тока, т. к. их искровые промежутки не в состоянии погасить дугу сопровождающего пост. тока, зажигающуюся в искровом промежутке после его пробоя. Для ограничения амплитуды перенапряжения берется обычный разрядник, пробивное напряжение к-рого координируется с уровнями изоляции защищаемого оборудования. Возникновение тока в цепи разрядника вызывает падение напряжения на спец. активном сопротивлении (порядка 0,1—0,2 *ом*), включенном последовательно с разрядником. Это падение напряжения, воздействуя на систему сеточного управления преобразоват. установки, практически мгновенно переводит выпрямитель в инверторный режим с произвольным углом β, что обеспечивает прекращение тока в цепи разрядника в течение 0,01—0,015 сек., а энергия, запасенная в индуктивности катодной цепи, без перенапряжений возвращается в сеть. При оперативном отключении ВУ со стороны перем. тока необходимо на выключающем аппарате иметь вспомогат. блек-шайбу, к-рая бы с упреждением на десятые доли сек. до отключения замыкала контакты вспомогат. устройства, обеспечивающего перевод установки в инверторный режим. Перевод выпрямителя в инверторный режим с успехом применяется и на установках передачи электроэнергии пост. током высокого напряжения (для осуществления норм. и аварийных коммутаций без перенапряжений).

Если ВУ снабжена неуправляемыми ртутными вентилями, для защиты от перенапряжений необходимы спец. нестандартные разрядники усложн. типа, искровые промежутки к-рых способны справляться с гашением дуги сопровождающего пост. тока.

Перенапряжения, неопасные в большинстве случаев для изоляции ВУ, но способные нарушить норм. работу вентилей, возникают периодически (с частотой, кратной частоте сети) при погасаниях вентилей в конце процесса коммутации. Эти перенапряжения носят характер ВЧ колебаний (1—30 *кгц*) и при отсутствии затухания могут достигать амплитуды:

$$2\sqrt{3}\sqrt{2}U_\Phi \sin(\alpha+\gamma)=4{,}9\,U_\Phi \sin(\alpha+\gamma),$$

где U_Φ — действующее значение фазного напряжения схемной обмотки тр-ра, α и γ —углы регулирования и коммутации.

Особенно большие перенапряжения этого рода появляются в установках с глубоким сеточным регулированием (напр., вентильный электропривод). Т. к. первый взброс напряжения после погасания вентиля происходит весьма быстро (10—100 *мксек*), то к этому времени деионизация дугового промежутка не всегда успевает закончиться, что приводит к обратным зажиганиям и нарушениям норм. работы установки. Известны [2] случаи пробоя изоляции тр-ров выпрямителей для питания мощных радиопередатчиков. Пробои возникали при запуске передатчиков, т. е. при больших углах регулирования. Наиболее распростран. способом снижения таких перенапряжений, позволяющим одновременно уменьшить скорость восстановления обратного напряжения на вентилях, является включение в схему успокоит. цепочек [3], состоящих из последовательно соединенных емкостей и активных сопротивлений. Для наиболее распространенных схем преобразования (3-фазной мостовой и две обратные звезды с уравнит. реактором) наиболее целесообразно успокоит. цепочки подключать параллельно фазам питающего тр-ра или параллельно вентилям.

Параметры элементов успокоит. цепочки могут быть найдены из следующих соотношений:

$$C_y=8C \text{ и } R_y=0{,}65\sqrt{L/C},$$

где C — эквивалентная паразитная емкость установки по отношению к земле, L — индуктивность рассеяния фазы тр-ра.

Удовлетворит. успокоение колебаний и снижение перенапряжений наступают при меньших значениях емкости $C_y=(2{,}5-3)C$, что вызвано затуханиями в активных сопротивлениях схемы и потерями на вихревые токи в стали тр-ров [4].

Перенапряжения возникают и в цепях с ПП вентилями, к-рые значительно более чувствительны к повышениям напряжения, нежели ртутные, причем осн. и наиболее опасным видом перенапряжений являются периодические с частотой питающего напряжения броски напряжения в момент прекращения тока в прямом направлении. Имеющая место в конце коммутации рекомбинация носителей тока происходит очень резко; при этом появляется длящийся доли *мксек* пик обратного тока, амплитуда к-рого достигает десятков *а*. Пик тока, обладая значит. крутизной 10—200 *а/мксек*, может создавать даже при наличии весьма небольших индуктивностей в цепи опасные перенапряжения. Они в 5—6 раз могут превышать амплитуду номин. линейного напряжения питающего тр-ра в мощных установках и в 10—12 раз в маломощных установках с магнитными усилителями [5].

Для предотвращения опасных перенапряжений рекомендуется параллельно каждой ветви преобразоват. установки включать цепочки RC. Числ. величины емкости и активного сопротивления с достаточной для практич. целей точностью могут выбираться из следующих соотношений [6]:

$$C=\frac{u_k I_{\text{обр}}^2}{\omega I_d U_{\text{обр}}}\ [\phi] \quad \text{и} \quad R=\frac{U_{\text{обр}}}{I_{\text{обр}}}\ [ом],$$

где u_k — напряжение кз питающего тр-ра (в долях номин. напряжения), $I_{\text{обр}}$ — амплитуда обратного тока (*а*), $U_{\text{обр}}$ — желаемая амплитуда обратного напряжения (*в*), ω — круговая частота (*1/сек*), I_d — номин. выпрямл. ток.

Если в одной ветви преобразоват. установки включено несколько ПП вентилей последовательно, то для обеспечения равномерного распределения напряжения, приходящегося на каждый вентиль, параллельно каждому из них надо включать емкость 0,01—0,02 *мкф*. Успокоительная RC-цепочка и в этом случае включается параллельно каждой ветви преобразователя. В преобразователях с ПП вентилями возникают опасные перенапряжения при различных оперативных коммутациях цепи, напр. при включении и отключении установки. Однако в случае наличия успокоит. цепочек, выбранных по указанному выше правилу, коммутац. перенапряжения для вентилей опасности не представляют.

Лит.: 1) Фетисов Н. М. и Трейвас М. Д., Испытание ртутновыпрямительного агрегата, М., 1940 («Тр. Н.-и. ин-та ж.-д. трансп.», вып. 90); 2) Doума T., Voltage impulses in rectifiers, «Philips Techn. Rev.», 1947, v. 9, № 5; 3) Berteie H. und Wasserrab Th., Umschaltschwingungen in Stromrichteranlagen, «Electrotechnik und Maschinenbau», 1942, Jg. 60, № 31/32; 4) Лытаев Р. А. и Григорьева Н. А., О моделировании восстанавливающегося напряжения на вентилях преобразовательных установок, в сб.: Доклады 4 Межвузовской конференции по применению физического и математического моделирования в различных отраслях техники, сб. 4, М., 1962; 5) Köster R., Einschwingvorgänge an Halbleiter-Gleichrichtern in Transduktorschaltungen, «AEG Mitt.», 1962, № 1/2; 6) Schulze H., Der Schutz von Silizium-Leistungsgleichrichtern, «Elektrie», 1962, Jg. 16, H. 6. *А. В. Стукачев.*

ПЕРЕПОЛНЕНИЯ ПРИЗНАК (overflow attribute; indice de surcharge; Überfüllungszeichen, Vorzeichen der Überfüllung) — сигнал, образуемый в вычислит. машине, когда результат арифметич. операции превышает принятый диапазон представления чисел, т. е. выходит за разрядную сетку машины. В этом случае знаковый разряд числа искажается переносом из старшего разряда мантиссы (напр., при делении нек-рого числа на нуль, иногда при сложении двух чисел одинаковых знаков). Для обнаружения переполнения вводится модифицир. код, к-рый будет определять возникновение переноса несовпадением значений двух знаковых разрядов. Реакция машины на переполнение может выражаться световой или звуковой сигнализацией на пульте управления, остановом или автоматич. введением поправки. *Г. Б. Смирнов.*

ПЕРЕРЕГУЛИРОВАНИЕ (overshooting; depassement de règlage; Überregelung) (заброс) — макс. отклонение регулируемой координаты относительно нового или старого установившегося значения, выраженное в относит. единицах или %%. Обычно

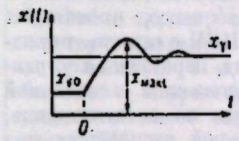


Рис. 1.

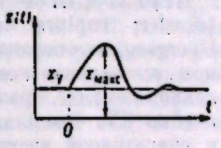


Рис. 2.

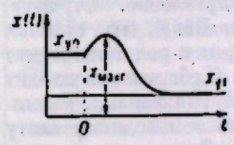


Рис. 3.

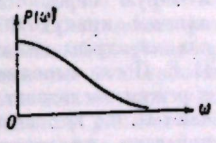


Рис. 4.

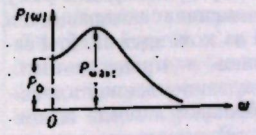


Рис. 5.

рассматривается П., возникающее в устойчивой системе при переходном процессе, вызванном скачкообразным воздействием или при определ. совокупности нач. условий. На рис. 1 показан переходный процесс с управляющим воздействием типа скачка или с нач. отклонением регулируемой величины.

В этом случае величина П. $\sigma=\frac{x_{\text{макс}}-x_{y_1}}{x_{y_1}-x_{y_0}}100\%$.

На рис. 2 — переходный процесс в астатич. системе при возмущающем воздействии типа скачка величиной f_0 или с нач. отклонением производной выходной величины $\dot{x}(0)$.

$\sigma=\frac{x_{\text{макс}}-x_y}{f_0}100\%$ или $\sigma=\frac{x_{\text{макс}}-x_y}{\dot{x}(0)}100\%$.

На рис. 3 — переходный процесс, вызванный совокупностью начальных условий, напр.

$x(0)>0$, $\dot{x}(0)>0$, $\sigma=\frac{x_{\text{макс}}-x_{y_0}}{x_{y_0}-x_{y_1}}100\%$.

В линейной системе величина П. не зависит от величин воздействий или нач. отклонений. Вследствие затухания в системе максимальным обычно бывает первое отклонение.

П. является одним из важнейших показателей качества. Разработаны методы оценки величины или наличия П., но требующие построения переходного процесса. Для переходного процесса, вызванного скачкообразным воздействием, величина П. оценивается по веществ. частотной хар-ке замкнутой системы $P(\omega)$. Для невозрастающей положительной $P(\omega)$ (рис. 4) $\sigma\leqslant 18\%$. Для $P(\omega)$, имеющей один максимум (рис. 5), $\sigma\leqslant(1{,}18\frac{P_{\text{макс}}}{P_0}-1)100\%$.

Разработаны также методы оценки величины П. в переходном процессе, к-рый возникает в системе n-го порядка в результате наличия нач. условий вида: $x^{(i)}(0)=0$, $x^{(k)}(0)=x_k\neq 0$, $i=1, 2,\ldots, k-1, k+1,\ldots, n-1$, т. е. при одном начальном значении, отличном от нуля. Используя эти методы, предполагают, что известна величина *колебательности* μ. Необходимые условия отсутствия П. при нач. условиях типа $x_0>0$, $x_1<0$, $x_i=0$, $i=2, 3, \ldots, n-1$ совпадают с условиями существования *монотонного процесса*.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954; Блох З. Ш., Динамика линейных систем автоматического регулирования машин, М., 1952; Рубинчик А. М., Приближенный метод оценки качества регулирования в линейных системах, в сб.: Устройства и элементы теории автоматики и телемеханики, М., 1952. *Р. С. Рутман.*

ПЕРЕХОД БЕЗУСЛОВНЫЙ (unconditional transfer; rupture de séquence; unbedingter Übergang) — операция ЦВМ с естеств. порядком выполнения команд, передающая управление команде, расположенной в заданной ячейке ЗУ. Выполняется по спец. команде, в оперативной части к-рой расположен код операции П. б., а в адресной — адрес ячейки, в к-рую передается управление. Осуществляется принудит. установкой на *счетчик команд* адреса команды, к к-рой происходит П. б. После выполнения П. б. машина входит в режим последоват. выборки команд. Различают П. б.: 1) с возвратом к исходному месту передачи управления. После выполнения участка программы (подпрограммы), к к-рому был совершен П. б., машина возвращается к команде, следующей за командой П. б. Реализуется формированием в процессе П. б. спец. команды возврата, записываемой в ячейку, к к-рой машина обращается после выполнения подпрограммы. В машинах с неск. счетчиками команд возврат осуществляется обращением к счетчику команд осн. программы; 2) с обращением к заданной ячейке после выполнения участка программы (подпрограммы), к к-рому был совершен П. б. Применяется в многоадресных машинах. Адрес ячейки, к к-рой производится обращение, указывается в команде П. б. В трехадресных машинах для этого часто служит третий адрес команды П. б. (аналогично и для возврата); 3) без возврата и обращения. В этом случае команда П. б. никаких дополнит. переходов не предусматривает. Для осуществления такого П. б. используется один адрес команды П. б. В многоадресных машинах остальные адреса служат для вспомогат. целей (напр., для очистки ячейки памяти). *И. А. Данильченко.*

ПЕРЕХОД УСЛОВНЫЙ (conditional jump; rupture de séquence conditionnelle; bedingter Übergang) — операция ЦВМ, передающая управление одной из команд программы в зависимости от выполнения или невыполнения заданного условия. Производится по команде, операц. часть к-рой содержит код П. у., а адресная — номера ячеек, к к-рым П. у. производится. Используется для автоматич. выбора одного из возможных путей решения задачи в зависимости от предыдущих результатов или к.-л. логич. условий. Реализуется установкой на счетчик команд адреса П. у. В одноадресных машинах передача управления происходит либо к следующей команде программы, либо к команде, адрес к-рой содержится в команде П. у. (напр., «Урал»). В многоадресных машинах управление может передаваться по одному из неск. адресов команды. При этом возможны как двойное («Стрела», М-3), так и тройное (63-я операция ЭВМ НОРК) разветвление.

Условиями П. у. могут являться: 1) результаты операций, предшествующих П. у. (нулевой или ненулевой, положительный или отрицат. и т. д.). При возникновении соответствующего результата вырабатывается спец. сигнал (часто его наз. сигналом ω), к-рый и определяет режим П. у.; 2) равенство заданной величине одного из адресов команды П. у.; 3) пребывание в том или ином положении спец. переключателя на пульте управления; 4) равенство или неравенство двух величин, извлеч. по адресам команды П. у. (напр., для трехадресной команды по 1-му и 2-му адресу могут извлекаться сравниваемые величины, а П. у. происходит либо к следующей ячейке, либо по 3-му адресу).

Различают П. у. с запоминанием и без запоминания адреса команды П. у. Запоминание осуществляется: а) на спец. коммутац. регистрах (напр., МАНИАК-2); б) на одном из счетчиков команд при наличии в машине несколько таких счетчиков (ТХ-2); в) в ЗУ машины в виде спец. кода, формирующегося при выполнении П. у. («Стрела»); г) на индексных регистрах (ИБМ-704). В некоторых машинах запоминается неск. адресов команд, предшествующих команде П. у. В «Марк-4», напр., запоминается 4 адреса. Запоминание адресов команд П. у. позволяет при необходимости возвращаться к прерванному участку программы. Частный случай — П. у. к выделенной команде. Задается либо спец. признаком в команде П. у., либо переключателем на пульте управления. Выполняется без изменения содержимого счетчиков команд (ИБМ-709). Выделенная команда может размещаться в ЗУ, на пульте управления и в специальных регистрах. После выполнения выделенной команды в работу автоматически включается счетчик команд.

В машинах, обладающих системой прерывания программ, используется П. у. к подпрограмме прерывания или к спец. счетчикам команд при наличии соответствующего требования. Существуют машины с пост. и произвольным набором условий для П. у. Последние содержат спец. регистры для записи условий П. у. в процессе решения задач. *И. А. Данильченко.*

ПЕРЕХОДНАЯ ФУНКЦИЯ (transfer function; fonction de transmission; Übergangsfunktion) — реакция линейной системы на *единичное ступенчатое воздействие* до приложения к-рого система находилась в покое. П. ф. является одной из основных хар-к системы и полностью определяет ее динамич. свойства. Зная П. ф. $h(t)$, можно определить, как будет реагировать система на любое воздействие. Если на вход в момент $t_0=0$ подана величина $x(t)$, величина $Y(t)$ на выходе системы в момент t выражается ф-лой:

$$Y(t)=X(0)\,h(t)+\int_0^t \frac{dx(\tau)}{d\tau}\,h(t-\tau)\,d\tau,$$

наз. интегралом Дюамеля, или ф-лой свертки. П. ф. связана с основными хар-ками линейных систем — *импульсной переходной функцией* $W(t)$ и *передаточной функцией* $K(p)$. Первая является производной от П. ф. $W(t)=\frac{dh(t)}{dt}$, а вторая связана с П. ф. соотношениями:

$$h(t)=\frac{1}{2\pi j}\int_{c-i\omega}^{c+i\omega}\frac{K(p)}{p}e^{pt}\,dp$$

и

$$K(p)=\int_0^\infty \frac{dh(t)}{dt}e^{-pt}\,dt,$$

где p — комплексная переменная.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954. *А. П. Тейман.*

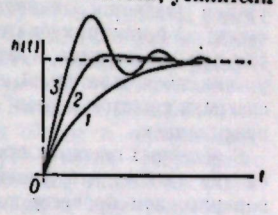
ПЕРЕХОДНАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА (transient response; caractéristique transitoire; Übergangskennlinie, Einschwingkennlinie) — зависимость от времени выходного сигнала, вызванного входным сигналом ступенчатой формы единичной амплитуды. Наиболее удобно с помощью П. х. проводить исследования линейных систем, поскольку только в этом случае форма выходного сигнала однозначно определяет св-ва, т. е. частотные и фазовые хар-ки, системы. Форма П. х. нелинейных систем зависит от амплитуды входного сигнала. При снятии П. х. входной сигнал должен содержать в своем спектре все частоты, лежащие в полосе пропускания данной системы. Поэтому в качестве эталонного входного сигнала выбирается единичный сигнал ступенчатой формы, в спектре к-рого содержатся все частоты от 0 до ∞. Ступенчатая форма оказывается наиболее удобной при математич. расчетах хар-ки. П. х. — одна из основных хар-к импульсного усилителя. Зная П. х. линейного усилителя, можно анализировать данный усилитель при любой форме сигнала. Если входной сигнал состоит из ряда накладывающихся ступенек величиной $A_0, A_1,\ldots$, сдвинутых относительно начала отсчета времени соответственно на интервалы $\tau_3=0, \tau_1, \tau_2,\ldots$, то выходной сигнал в линейной системе будет суммой *переходных функций*, сдвинутых на те же интервалы и умноженных на величину ступенек. При этом должны быть учтены нач. условия, различные в начале каждого интервала. Если число ступенек невелико, суммирование можно осуществить графически. В случае плавного сигнала число аппроксимирующих ступенек становится, очевидно, бесконечно большим, а их величины бесконечно малыми. Тогда суммирование заменяется интегрированием. Имеется неск. взаимосвязанных вариантов таких интегралов, напр. интегралы Дюамеля

$$a_{\text{вых}}=a'_{\text{вх}}(0)\,h(t)+\int_0^t a'_{\text{вх}}(\tau)\,h(t-\tau)\,d\tau,$$

$$a_{\text{вых}}=a_{\text{вх}}(t)\,h(0)+\int_0^t a_{\text{вх}}(t-\tau)\,h'(\tau)\,d\tau,$$

где $h(0)$ — значение переходной ф-ции в момент $t=0$.

П. х. можно найти как путем интегрирования дифференц. ур-ния системы, так и операторным методом. П. х. дает возможность судить об искажениях сигнала, обусловленных частотной хар-кой исследуемой системы: при малых искажениях фронтов сигнала хорошо воспроизводятся высокие частоты, при малых искажениях вершины — низкие. Время нарастания выходного сигнала обратно пропорционально верхней граничной частоте полосы пропускания, а время спада — нижней граничной частоте. В частности, усилители пост. тока, у к-рых нижняя граничная частота равна 0, имеют бесконечно большое время спада и, следовательно, передают плоскую часть импульса без искажений.



Для примера на рис. показаны П. х. усилителя на сопротивлениях с различными степенями индуктивной коррекции. П. х. *1* соответствует усилителю без коррекции, имеющему завал частотной хар-ки в области ВЧ. П. х. *2* соответствует правильно отрегулированному усилителю. П. х. *3* получается при чрезмерно большой корректирующей индуктивности, когда частотная хар-ка имеет подъем в области ВЧ.

Лит.: Эргле К. Э., Степаненко И. П., Электронные усилители, М., 1961. *К. С. Ржевкин.*

ПЕРЕХОДНЫЙ ПРОЦЕСС (transient process; processus transitoire; Einschwingvorgang, Übergangsvorgang) — изменение во времени состояния динамич. системы с момента приложения *воздействия* до начала *установившегося процесса*. Состоит из вынужд. и собств. составляющих. В устойчивой системе последняя с течением времени стремится к нулю. Теоретически П. п. в линейной непрерывной системе длится бесконечно долго; поэтому вводится условная граница окончания П. п., после к-рой регулируемая величина отличается от установившегося процесса не более чем на нек-рую выбранную малую величину (см. *Регулирования время*). Практически это время ограничено нелинейностями в системе. В нек-рых нелинейных системах, в частности оптимальных по быстродействию, а также в импульсных при выполнении *устойчивости бесконечной степени условия* можно осуществить П. п. конечной длительности.

П. п., вызванный типовыми воздействиями (обычно единичным скачком), определяет *качества показатели* САР. Поведение системы в П. п. является одной из важнейших хар-к САР, поэтому разработано большое число способов построения П. п. (см. *Переходных процессов построение*), а также оценок показателей качества без построения П. п. *Р. С. Рутман.*

ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ ПОСТРОЕНИЕ (transient evaluation; construction des processus transitoires; Bildung von Einschwingvorgängen) — вычисление закона изменения во времени координат динамической системы под воздействием заданного возмущения. При П. п. п. в линейных системах с пост. параметрами нашли наиболее широкое применение *трапецеидальных частотных характеристик метод* и метод нахождения обратного преобразования Лапласа с помощью теорем разложения. Последний метод требует нахождения корней характеристич. ур-ния системы, что является трудоемкой задачей и не дает суждения о том, как надо изменить параметры, чтобы улучшить процесс. К системам с запаздыванием метод неприменим.

В нелинейных системах удобно производить П. п. п. численно-графич. методом (метод секущих), разработанным Д. А. Башкировым, предлагающим простые способы графич. решения неоднородных ур-ний 1-го и 2-го порядков при любой заданной ф-ции в правой части ур-ния (задается аналитически или графически). Ур-ния приводятся к системе ур-ний 1-го или 2-го порядка, и затем решается каждое ур-ние последовательно. Метод применим к системам с пост. и перем. параметрами и с запаздыванием.

В релейных системах при П. п. п. пользуются тем св-вом, что линейная часть системы в переходном процессе подвержена воздействию прямоугольных импульсов пост. высоты, знак, длительность и относит. расположение к-рых зависят от параметров релейной хар-ки, от внешнего воздействия и от состояния линейной части системы. Переходный процесс строится суммированием реакций линейной части системы на эти простейшие воздействия. Для П. п. п. необходимо предварительно вычислить переходную ф-цию линейной части системы $h(t)$ и определить моменты переключения реле t_k. Вычисление $h(t)$ можно произвести указанными выше методами. Моменты времени t_k аналитически определить невозможно; они легко определяются графически одновременно с П. п. п.

В импульсных системах при П. п. п. можно пользоваться рекуррентными соотношениями или аналогом метода трапецеидальных частотных хар-к.

Из др. методов П. п. п. нашли применение *асимптотические методы*, *припасовывания метод*, метод касательных и др. Иногда для П. п. п. применяют численные методы интегрирования дифференц. ур-ний. К ним относятся метод Эйлера, метод последоват. приближений, метод Рунге — Кутта, разностный метод Адамса — Штермера и др.

Лит.: Попов Е. П., Динамика систем автоматического регулирования, М., 1954; Айзерман М. А., Лекции по теории автоматического регулирования, 2 изд., М., 1958; Цыпкин Я. З., Теория релейных систем автоматического регулирования, М., 1955. *В. Ю. Рутковский.*

ПЕРЕХОДОВ ДИАГРАММА (transient graph; diagramme des transferts; Übergangsdiagramm) — графич. способ задания условий работы многотактного релейного устройства (конечного или вероятностного автомата). Конечный автомат задается ур-ниями

$$y(t+1)=\varphi[x(t+1),\ y(t)],$$
$$z(t+1)=\psi[x(t+1),\ y(t)],$$

где $x(t)$ — состояние входов в момент t, $y(t)$ — состояние промежуточных элементов (внутреннее состояние) в момент t, $z(t)$ — состояние выходов в момент t, φ и ψ — ф-ции, различные для различных устройств. Число значений аргументов и значений ф-ций φ и ψ конечно, поэтому эти ф-ции можно задать таблицами. П. д. является графич. представлением таблиц ф-ций φ и ψ. Напр., автомату с двумя состояниями входов x_1, x_2, тремя внутренними состояниями y_1, y_2, y_3, двумя состояниями выходов z_1, z_2 и с ф-циями φ и ψ, к-рые заданы след. таблицами:

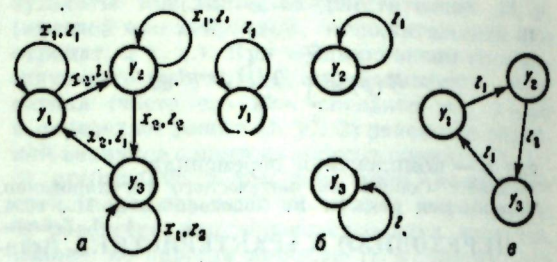
φ:

	x_1	x_2
y_1	y_1	y_2
y_2	y_2	y_3
y_3	y_3	y_1

ψ:

	x_1	x_2
y_1	z_1	z_1
y_2	z_1	z_2
y_3	z_2	z_1

[строки и столбцы таблиц отмечены значениями аргументов, значения функций написаны внутри таблиц; например, $\varphi(x_2, y_1)=y_2$, $\psi(x_1, y_3)=z_2$], соответствует П. д. на рис. *а*. Состояниям автомата на П. д. соответствуют кружки, или вершины. Стрелка с надписью



x_2, z_2, ведущая из вершины y_2 в вершину y_3, означает, что автомат, находящийся в состоянии y_2, под действием входной комбинации x_2 переходит в состояние y_3; при этом появляется выход z_2. В функциональных обозначениях это выразится так: $\varphi(x_2, y_2)=y_3$, $\psi(x_2, y_2)=z_2$, что соответствует вышепривед. таблицам.

Тот же автомат можно описать двумя П. д. — по одной для каждого состояния входов (рис. *б* для x_1 и рис. *в* для x_2). В этом случае на стрелках пишется только z_1 или z_2. П. д. этого вида удобно применять при описании автономных релейных устройств (см. *Релейное устройство автономное*) и состязаний релейных элементов (см. *Релейных элементов состязание*). В вероятностных автоматах переход уже не является однозначным: из данного состояния автомат при входе x_i может перейти в состояния $y_1, \ldots, y_n$ с вероятностями $p_{i1}, \ldots, p_{in}$. Это усложняет вид ф-ций φ и ψ и, соответственно, П. д.: на стрелке должны быть указаны вероятности соответствующих переходов. Для автоматов с небольшим числом состояний П. д. — очень наглядное средство описания их работы. В частности, из рис. *а* непосредственно видно, что рассмотренный автомат является кольцевым счетчиком воздействий x_2, к-рый выдает выход z_2 после каждого 3-го входа x_2. *О. П. Кузнецов.*

ПЕРИОД РАЗГОНА (rise time; temps d'élan; Anlaufperiode) — часть переходного процесса, в течение к-рой происходит нарастание скорости системы или отдельного звена. Применительно к объектам управления, таким, как электрич. двигатели, паровые или газовые турбины, насосные агрегаты, турбогенераторы, двигатели внутр. сгорания и т. п., П. р. означает продолжительность времени нарастания числа оборотов ротора или вала до номинального значения при включении машины.

Лит. см. при ст. *Регулирования объект.* *А. Г. Адоян.*

ПЕРИОДИЧЕСКИЙ РЕЖИМ (periodic mode; régime périodique; periodischer Betrieb) — состояние динамич. системы, при к-ром ее координаты изменяются во времени по периодич. закону. П. р. может быть свободным (обусловленным внутр. силами системы) или вынужденным (вызванным внешним периодич. воздействием), симметричным и несимметричным, с пост. составляющей и без нее, простым (с двумя в течение периода изменениями знака перем. составляющей) и сложным (с изменением знака перем. составляющей более чем два раза за период). Сложные П. р. могут иметь место только в нелинейных системах.

Свободный П. р. в линейной системе с пост. параметрами имеет вид гармонич. движения и свидетельствует о том, что система находится на границе устойчивости. Амплитуда колебаний при этом целиком определяется начальными условиями, а частота — внутр. свойствами системы. П. р., вызванный в линейной системе с пост. параметрами гармонич. внешним воздействием, имеет вид гармонич. движения, частота к-рого равна частоте внешнего воздействия.

Одно из проявлений свободных устойчивых периодич. движений в нелинейных системах — *автоколебания*. Амплитуда автоколебаний не зависит от начальных условий, а частота определяется внутр. свойствами системы. П. р., вызванный в нелинейной системе периодич. внешним воздействием, в различных условиях может иметь частоту, равную частоте воздействия или находящуюся с нею в рацион. отношении. П. р., частота к-рого в целое число раз меньше частоты внешнего воздействия, наз. субгармоническим. *М. М. Симкин.*

ПЕРИОДИЧЕСКОЕ ДВИЖЕНИЕ (periodic motion; mouvement périodique; periodische Bewegung) — движение системы, состояния к-рой периодически повторяются. Каждая из координат системы, совершающей П. д., подчиняется условию:

$$x(t)=x(t+kT),\quad k=0,\ \pm 1,\ \pm 2, \ldots,$$

где t — время, $T=1/f$ — период, $f=\omega/2\pi$ — частота, ω — круговая частота. Примером простейшего П. д. служит *гармоническое движение*, которое описывается синусоидальной ф-цией $x(t)=A\sin(\omega t+\varphi)$, где A — амплитуда, φ — нач. фаза. Любое П. д. представляет конечную либо счетную совокупность гармонических движений (гармоник), частоты к-рых кратны частоте рассматриваемого периодич. движения. Ф-ция, с помощью к-рой описывается П. д., разлагается в ряд Фурье вида:

$$x(t)=\sum_{n=0}^{\infty} A_n \sin(n\omega t+\varphi_n),$$

где A_n, φ_n — амплитуда и начальная фаза n-й гармоники.

Лит.: Основы автоматического регулирования. Теория, под ред. В. В. Солодовникова, М., 1954, с. 104. *М. М. Симкин.*

ПЕРИОДИЧНОСТИ УСЛОВИЕ (periodicity condition; condition de périodicité; Periodizitätsbedingung) — матем. выражение условия, к-рому подчиняется периодическая ф-ция $f(t)$:

$$f(t+T)=f(t).$$

Наименьшее число T, удовлетворяющее этому условию, наз. периодом ф-ции. В ТАР П. у. широко применяется при отыскании периодич. решений. Напр., наряду с условиями надлежащего направления переключения реле и отсутствия переключений внутри полупериода $T/2$ П. у. применяется при анализе авто- и вынужденных колебаний в релейных системах частотным методом, методом припасовывания и т. д. При отыскании симметричных периодич. решений П. у. записывают:

$$f\left(t+\frac{T}{2}\right)=-f(t).$$

В. Ю. Рутковский.

ПЕРСЕПТРОН (perceptron; perceptron; Perceptron) — 1) Машина, обучающаяся распознаванию образов (см. *Узнающая машина*). 2) Узнающая машина, разработанная Ф. Розенблаттом, имеющая следующие особенности: а) наличие ассоциативных элементов, каждый из к-рых связан со случайным набором рецепторов, и б) процесс обучения основан на изменении коэфф. усиления связей между различными элементами машины. *Э. М. Браверман.*

«ПЕРТ» [PERT — Program Evaluation Review Technique (метод обзора и оценки программ); Pert; Pert] — метод регулярного обеспечения руководителей разработок (военных и пром.) сводками о ходе разработки, составленными при применении вычислит. машин и указывающими на критич. и потенциально критич. элементы в ходе выполнения программы, а также на их возможное воздействие на плановые сроки. «П.» создан в 1958 в США группой специалистов Управления специальными проектами БМФ с участием представителей фирмы Локхид (главного разработчика управляемого снаряда «Поларис»). Система руководства разработками по методу «П.» позволяет перспективно планировать проект в целом, следить за выполнением каждой отд. задачи и анализировать причины задержек, угрожающих выполнению в срок всего проекта. Сообщалось об успешном применении в США «П.» при руководстве разработками крупных военных систем (напр., «Ника-Зевс», «Поларис»), а также в гражданской пром-сти и строительстве. Считают, что досрочное (в 1961 вместо 1963) завершение вооружения подводных лодок снарядами «Поларис» было достигнуто благодаря применению «П.».

Согласно «П.», разработка любого проекта ведется так: вначале детально анализируется вся программа разработки системы и составляется перечень всех основных событий разработки в хронологич. последовательности. Основные события перечня должны быть четко сформулированы и характеризоваться точно определяемыми моментами времени. Далее составляется график хода разработки (рис. 1), на к-ром события обозначаются кружками, размещенными в хронологич. последовательности. Линии, соединяющие кружки, показывают взаимную зависимость и последовательность событий; на них указан объем работ, к-рый необходимо выполнить на каждом этапе.

След. ступень — оценка временных интервалов, требуемых для проведения каждой работы. Для этого вычисляется ожидаемое вероятное время, основанное на статистич. взвешивании трех оценок — наиболее вероятной (не предусматривающей никаких неожиданных усложнений или облегчений задач), оптимистической (предусматривающей затраты времени, к-рые потребуются, если все процессы пойдут быстрее, чем ожидается) и пессимистической (предусматривающей задержку в решении нек-рых задач, но не стихийные бедствия). Ожидаемое время вычисляется так, что пессимистич. и оптимистич. оценкам придается вес, равный $^1/_4$ веса наиболее вероятной оценки.

Это — 1-я вычислит. операция планирования; 2-я вычислит. операция — обобщение всех отд. ожидаемых рабочих времен вдоль

каждого возможного пути, от нач. до конечного события. Затем с помощью ЭВМ проверяется общее рабочее время вдоль различных возможных путей с целью нахождения наиболее длинного, к-рый наз. критическим путем, и вычисляется резерв времени для каждого некритич. пути между нач. и конечным событиями (т. е. разность между общим ожидаемым рабочим временем для данного пути и общим временем для критич. пути). Кроме того, вычисляется ожидаемый резерв времени для каждого события вдоль различных путей в графике. Число недель резерва времени является мерой необходимого ускорения. Зная требуемую дату завершения разработки и дату начала разработки, с помощью ЭВМ можно составлять обобщенные сводки, описывающие состояние разработки и предназначенные для руководителей программы. Эти сводки, составляемые каждые 2 недели, указывают руководителям на резервы времени (отрицат., нулевые или положит.), к-рые имеют те или иные работы; т. о., обеспечивается возможность передвижения людских резервов или средств с одной работы на другую.

Указанный аспект применения «П.», при к-ром в качестве независимого перем. было выбрано время, получил название «Перт-время». Развитием его являются методы

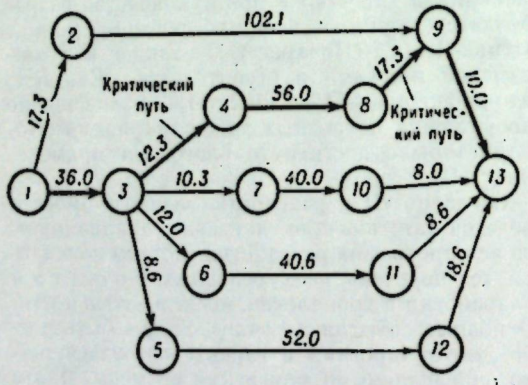


Рис. 1. График разработки самолета по методу «Перт-время»: *1* — получение разрешения на разработку; *2* — заключение договора о поставке двигателя; *3* — завершение проекта и разработки технич. условий; *4* — завершение чертежей фюзеляжа; *5* — представление требований на оборудование; *6* — заключение договора на поставку хвостового оперения; *7* — заключение договора на поставку крыльев; *8* — окончание сборки фюзеляжа; *9* — завершение сборки фюзеляжа и двигателя; *10* — получение крыльев от субподрядчика; *11* — получение хвостового оперения от субподрядчика; *12* — получение самолетного оборудования; *13* — окончание создания самолета.

«Перт-стоимость» и «Перт-надежность», разработанные с целью планирования, оценки и контроля стоимости и надежности систем на отд. этапах разработки.

При использовании метода «Перт-стоимость» вначале составляется график отд. работ и событий. Затем оцениваются денежные средства, требуемые для выполнения каждой отд. работы, указанной в графике (рис. 2). В ходе разработки действит. стоимости и сроки выписываются отдельно для каждой работы и сравниваются с предварит. оценками для определения состояния разработки. По методу «Перт-стоимость» выходными данными являются сводки о состоянии сроков, стоимости и оставшихся денежных средств, а также новый график, показывающий оптимальную с точки зрения стоимости путь, к-рые должны обеспечить выполнение разработки в запланированный срок. Стоимость применения метода «П. составляет примерно 0,1% от стоимости самой разработки.

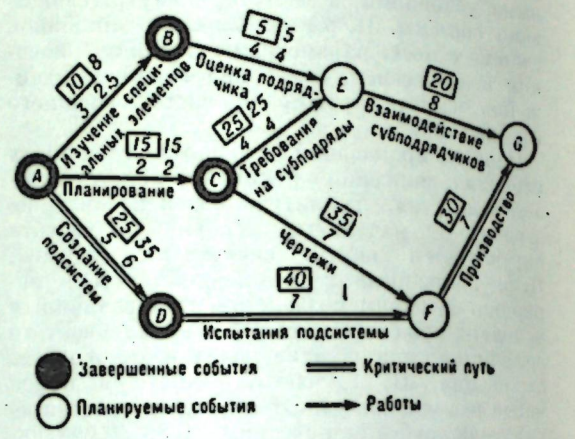


Рис. 2. График разработки по методу «Перт-стоимость». Цифры в рамках — ассигнования (в тыс. долларов), рядом — действит. расход; внизу: слева — срок (в неделях), справа — затраченное время.

В аспекте надежности метод «Перт» был назван «Призм» (PRISM—Program Reliability Information System for Management). Метод дает возможность разрешать проблемы надежности до того, как они непосредственно возникают, а также предсказывать надежность системы до ее постройки. При применении метода «Призм» события и работы по надежности вводятся в график «Перт-время» и контроль за надежностью осуществляется аналогично контролю за ходом разработки.

Лит.: «Operat. Res.», 1959, v. 7, № 5, p. 646; «Aviat. Week», 1960, v. 73, № 22, p. 85; «Missiles and Rockets», 1961, v. 9, № 3, p. 110; там же, 1962, v. 10, № 3, p. 16; «Computers and Automat.», 1961, v. 10, № 11, p. 35; «Electronics», 1961, v. 34, № 46, p. 30; «Automatic Data Proc.», 1962, v. 4, № 1, p. 20.

К. В. Доброхотова.

ПЕРФОРАТОР (perforator; perforatrice; Perforator, Locher) — устройство для записи информации путем пробивания отверстий (перфораций) в к.-л. носителях информации. Наиболее распространены П. для записи цифровой или алфавитно-цифровой информации на перфокартах и перфоленте, используемые в качестве входных или выходных устройств в комплектах счетно-перфорац. машин, электронных ЦВМ, в телеграфии и т. п. Существует множество типов П., отличающихся назначением, производительностью, устройством привода и перфорирующего механизма, а также способом управления (табл.).

Осн. элементом П. является собственно перфорирующий механизм, важнейшие детали к-рого (рис. 1—3): пуансон *2* с сечением в форме отверстия, пробиваемого на ленте *1*, матрица *3* с отверстием для прохода пуансона и установочный рычаг *4*, способный блокировать пробивку перфорации. Конструкции П. различаются в зависимости от числа одновременно работающих пуансонов, от того, какие звенья устройства перемещаются при перфорировании, и принципа действия установочного рычага. Другая конструктивная характеристика П.— согая конструктивная характеристика П.— состояние носителя информации (ленты, карты) в момент перфорирования. Различают П. с непрерывно движущимся носителем, осуществляющие пробивку во время его движения (рис. 1), и П., работающие по

Таблица. Основные типы перфораторов и области их применения

Вид носителя информации / Характер привода и управления	Перфоленты	Перфокарты
Машинный привод с автоматич. управлением от различных носителей информации или устройств переработки информации	1. Входные П. для изготовления первичных массивов информации, вводимой затем в различные устройства 2. Синхронные (контрольные) П. для перфорирования, одноврем. печатания и ввода в машину текстовой или алфавитно-цифровой информации (с помощью общей клавиатуры)	1. Выходные П., управляемые сигналами, поступающими от ЦВМ или др. устройств 2. П., управляемые перфокартами и осуществляющие перевод информации с перфокарт на перфоленту 3. П., управляемые перфолентой (реперфораторы), дублирующие информацию, нанесенную на входной ленте 4. П., управляемые магнитной лентой, используемые для перевода информации с магнитной ленты на перфоленту 5. Измерит. П., управляемые ходом к.-л. процесса, параметры к-рого автоматически измеряются и в закодированной форме перфорируются на ленте 6. Синхронные П., перфорирующие информацию для документирования с одновременной передачей этой информации др. потребителям
Машинный привод с полуавтоматич. управлением с помощью клавиатуры	1. Входные П., управляемые сигналами, поступающими от ЦВМ; используются для вывода результатов вычислений 2. П., управляемые перфокартами и осуществляющие перевод информации с перфокарт на перфоленту 3. П., управляемые перфолентой (реперфораторы), дублирующие информацию, нанесенную на входной ленте 4. П., управляемые магнитной лентой, используемые для перевода информации с магнитной ленты на перфоленту 5. П., управляемые ходом к.-л. процесса, параметры к-рого автоматически измеряются и в закодированной форме перфорируются на ленте 6. Синхронные П., перфорирующие информацию для документирования с одновременной передачей этой информации др. потребителям	1. Выходные П., управляемые сигналами, поступающими от ЦВМ; устройства, управляемые перфокартами 2. П., управляемые перфокартами и осуществляющие перевод информации с перфокарт на перфоленту 3. П., управляемые перфолентой (реперфораторы), дублирующие информацию, нанесенную на входной ленте 4. П., управляемые магнитной лентой, используемые для перевода информации с магнитной ленты на перфоленту 5. Измерит. П., управляемые ходом к.-л. процесса, параметры к-рого автоматически измеряются и в закодированной форме перфорируются на ленте 6. Синхронные П., перфорирующие информацию для документирования с одновременной передачей этой информации др. потребителям

Примечание. В таблицу не приводятся вспомогат. устройства — компостеры, щипцы, насечки информац. перфокарт.

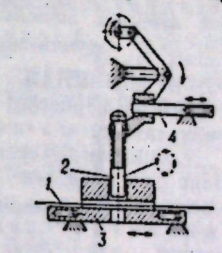


Рис. 1. Схема перфоратора, в к-ром отверстия пробиваются во время движения ленты; пуансон *2* и матрица *3* также подвижны.

т. н. стартстопному принципу, когда лента или карта в момент перфорирования неподвижны (рис. 2 и 3). Стартстопные П. с ручным (клавишным) управлением подразделяются на одноходовые (работают синхронно с нажатием клавиш наборного устройства) и двухходовые (перфорируют только после окончания набора и нажатия на исполнит. клавишу). Двухходовые П. допускают внесение исправлений после осуществления набора. П. бывают с механическим, электро-

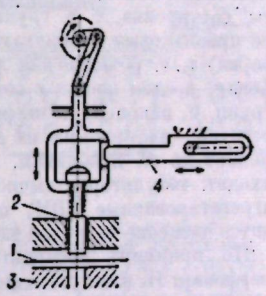


Рис. 2. Схема перфоратора, в к-ром лента в момент перфорации неподвижна; пуансон *2* подвижен, матрица *3* неподвижна.

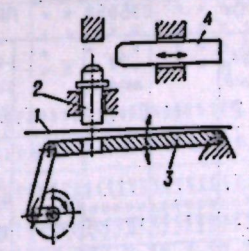


Рис. 3. Схема перфоратора, в к-ром лента в момент перфорации неподвижна; пуансон *2* и матрица *3* подвижны.

магнитным, пневматическим или гидравлическим приводом.

Лит.: Евдокимов И. С., Евстигнеев Г. П., Крушин В. Н., Цифровые вычислительные машины, 3 изд., М., 1961; Счетные машины. Каталог, М., 1958 (ЦВТИ приборостроения и средства автоматизации. ЦНИИКА); Анисимов Б. В., Четвериков В. Н., Основы теории и проектирования цифровых вычислительных машин, М., 1962; Bürger E., Leonhardt W., Die Lochbandtechnik, B., 1961. *М. Г. Гаазе-Рапопорт.*

ПЕРФОРАЦИОННАЯ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ МАШИНА [punched-card (punched-tape) computer; calculateur à cartes (à bandes) perforées; Lochkarten-Rechenmaschine, Rechenmaschine mit gelochtem Informationsträger], счетно-перфорационная, счетно-аналитическая,— комплект ЦВМ, предназнач. для обработки информации, фиксируемой на перфокартах. Состоит из двух групп машин: 1) для подготовки и предварит. обработки перфокарт, 2) для вычислит. обработки информации, воспринимаемой с перфокарт. В первую группу входят: перфораторы, контрольники, репродукторы, итоговые перфораторы, сортировальные машины, раскладочно-подборочные машины, расшифровочные машины. С их помощью осуществляются: перфорация карт; контроль правильности нанесения пробивок на перфокарты; сортировка, т. е. группировка перфокарт по признаковым пробивкам; раскладка и подборка, т. е. объединение двух массивов перфокарт в один массив с сохранением порядка групп, и, наконец, расшифровка, т. е. запись печатной информации на верхнем поле перфокарт по их пробивкам. Во вторую группу входят: табуляторы, вычислит. перфораторы, агрегатированные ЭВМ, на к-рых производится решение задач по заданной программе.

По принципу восприятия информации с перфокарт П. в. м. разделяются на щеточные — электрич. восприятие, и штифтовые — механич. восприятие. Наиболее распространено щеточное восприятие пробивок, т. к. оно имеет более широкие возможности и большую гибкость программирования (коммутация, управление работой и возможности агрегатирования). Оно применяется в советских П. в. м., а также в ряде машин зарубежных фирм: ИБМ (США), «Булль» (Франция) и др.

По емкости перфокарт комплекты П. в. м. разделяются на 45- и 80-колонные (для машин со щеточным восприятием) и 45- и 90-колонные (для машин со штифтовым восприятием). 45-колонные комплекты П. в. м. используются для обработки только цифровой информации, 80- и 90-колонные — для обработки как цифровой, так и алфавитно-цифровой информации. Наибольшее распространение получили 80-колонные комплекты П. в. м.

По принципам работы П. в. м. подразделяются на механич., электромеханич. и электронные. В механич. П. в. м. имеет место штифтовое восприятие информации; они — медленно действующие (100 операций в мин.). За последние годы все большее распространение получают электронные устройства в П. в. м., в результате чего резко повышаются скорость вычислений, накопления в машинах больших объемов информации и программ (по сравнению с механич. и электромеханич. устройствами). Развитие П. в. м. идет по пути пополнения комплектов агрегатированными электронными машинами, к-рые являются ЭВМ с программным управлением, с оперативными ЗУ большой емкости (1024—16 384) десятичных многоразрядных (6—12) чисел и с электронными АУ со скоростью работы 500—5000 операций в сек. Ввод чисел и программ осуществляется с перфокарт.

Использование П. в. м. наиболее эффективно для механизации вычислит. работ с большими объемами входной и выходной информаций и, в первую очередь, для экономич. и статистич. инженерно-технич. расчетов. Ввод информации в П. в. м., а также обработка ее производится в десятичной или десятично-кодиров. системах счисления; во всех точках технологич. обработки перфокарт информация тщательно контролируется. Выходная информация записывается на многоразрядных (96—128) цифровых или алфавитно-цифровых печатающих механизмах; промежуточные результаты перфорируются на перфокартах в десятичной системе.

Лит.: Рязанкин В. Н., Коноплев В. В., Добецкий Л. Ю., Советские счетно-аналитические машины, М., 1957; Евдокимов И. С., Евстигнеев Г. П., Крушин В. Н., Цифровые вычислительные машины, 3 изд., М., 1961. *В. Н. Рязанкин.*

ПЕРФОРАЦИОННАЯ КАРТА (punched card; carte perforée; Lochkarte) — носитель цифровой или алфавитно-цифровой информации в виде карточки стандартной формы и размеров, информация, на к-рую в форме отверстий (перфораций), располож. в соответствующих местах, наносится гл. обр. с помощью *перфоратора*.

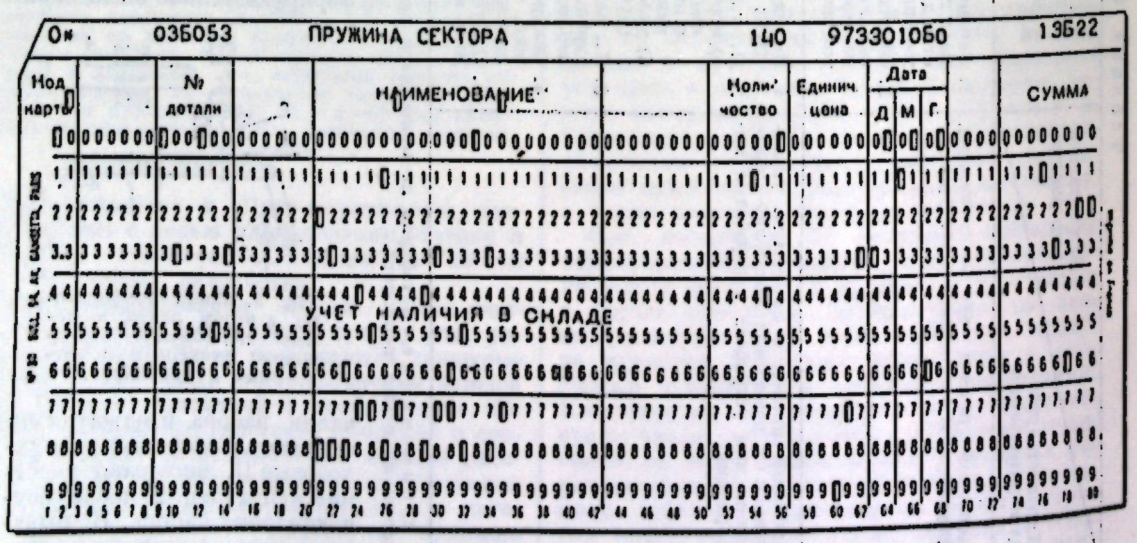


Рис. 1. 80-колонная карта с внутренней перфорацией типа фирмы «Булль».

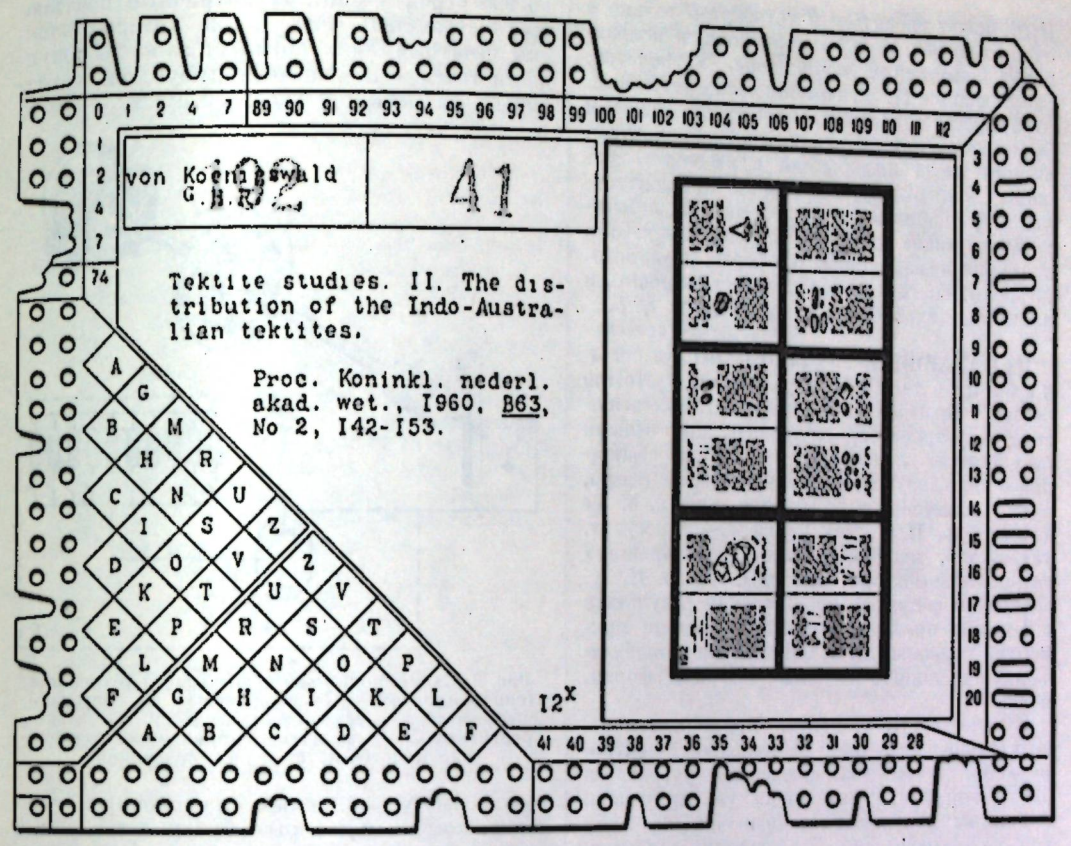


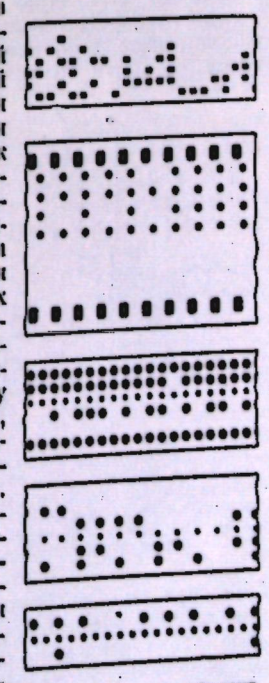
Рис. 2. Карта с внешней перфорацией.

П. к., как правило, изготавливаются из плотной бумаги или тонкого картона, реже из пластмассовых листов. Существует большое число различных видов П. к., отличающихся формой, объемом хранимой информации, размерами, формой и расположением перфораций. В СССР наибольшее распространение получили П. к. размером 187,4 ± ±0,1 × 82,5±0,1 *мм* с внутр. перфорациями (ГОСТ 6198—52). В зависимости от емкости карты используются с круглыми перфорациями (45-колонные) или с прямоугольными перфорациями (80-колонные) (рис. 1).

Существуют также П. к. с внешней перфорацией, используемые гл. обр. для хранения информац. материала, помещаемого в ср. части карты (рис. 2). П. к. с внутр. перфорациями также иногда содержат дополнительный нечисловой информац. материал (чертеж, микрофильм и т. п.). Они используются для хранения больших многократно используемых массивов информации, вводимой для обработки в ЦВМ (электронные или счетно-перфорационные), а также для хранения промежуточных результатов, выдаваемых этими машинами. П. к. используются также для хранения управляющей информации для программно-управляемых поточных линий и станков. Кодирование информации на П. к. зависит от технич. особенностей устройств, их использующих; наиболее часто информация на П. к. представляется в двоичной или десятичной системах счисления.

Лит.: Евдокимов И. С., Евстигнеев Г. П., Крушин В. Н., Цифровые вычислительные машины, 3 изд., М., 1961; Броун Р., Автоматизация учета, пер. с англ., Л., 1960; Воробьев Г. Г., Опыт создания специализированных карточек на перфокартах, «Научно-техническая информация» (ЦНИТИ), № 2, М., 1962, с. 17—21. *М. Г. Гаазе-Рапопорт.*

ПЕРФОРАЦИОННАЯ ЛЕНТА (punched tape; bande perforée; gelochtes Band) — *носитель информации* в виде длинной бумажной, пластмассовой или целлулоидной ленты, информация на к-рую наносится в форме пробивок (перфораций), располагаемых в несколько рядов. Число рядов, форма пробивок и система кодирования информации в разных видах П. л. различны (рис.). Число рядов перфораций обычно соответствует числу двоичных разрядов, одновременно записываемых или считываемых с ленты. П. л. так же, как и перфорационная карта, служит для длит. хранения и многократного использования больших массивов информации, но, в отличие от перфокарт, информация, помещ. на



Различные типы перфолент.

П. л., может вводиться в устройство только в одном определ. порядке; сортировка и исправление информации затруднены. Устройства, работающие с П. л., обычно проще устройств, работающих с картами, и обладают бо́льшим быстродействием. П. л. широко используются для ввода информации в вычислит. машины, для вывода и хранения промежуточной информации в вычислит. машинах и быстродействующих телеграфных аппаратах, для хранения информации в цифровых и аналого-цифровых системах, управляющих станочными линиями, технологич. процессами, и т. п.

М. Г. Гаазе-Рапопорт.

ПЕЧАТАЮЩЕЕ УСТРОЙСТВО (в вычислительной технике) (printing device; dispositif imprimeur; Druckeinrichtung) — устройство, служащее для выдачи результатов, полученных вычислит. машиной в виде визуально читаемых знаков (цифр, букв), нанесенных на бумагу или к.-н. ее заменитель. П. у., как правило,— самостоят. устройство, входящее в комплект внешних устройств вычислит. машины. Реже П. у. совмещает ф-цию воспроизведения результата с ф-циями преобразования информации; примерами подобных П. у. могут служить *табуляторы*, входящие в комплект счетно-перфорац. машин.

В качестве П. у. в осн. применяются относительно медленно работающие электромеханич. устройства. Создаются устройства быстрой печати, к-рые используют др. физич. принципы получения изображения (фотооптич., электрографич., ксерографич., электроискровой, электрохимич. и др.), позволяющие печатать результаты со скоростями порядка неск. тыс. знаков в сек. Электромеханическими П. у. являются: а) пишущие машинки с электрич. управлением (ленточные или рулонные), последовательно печатающие знаки (автоматич. пишущие машинки с соленоидным управлением, печатающие телеграфные устройства — телетайп, флексорайтер и др.). Устройства этого типа могут печатать до 7 копий со скоростью до 20 знаков в сек.; б) строкопечатающие стартстопные устройства, штанговые (рис. 1) и колесные (рис. 2), у к-рых

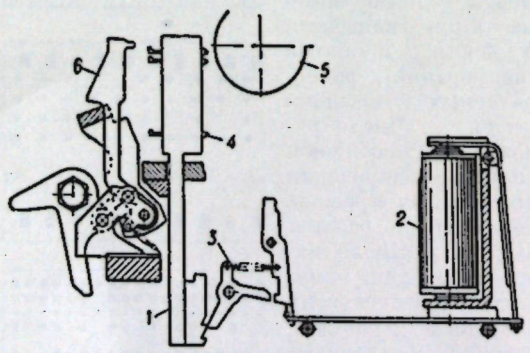


Рис. 1. Схема штангового печатающего устройства: *1* — штанга; *2* — электромагнит; *3* — собачка для фиксации штанги в опред. положении; *4* — пуансон с укрепл. на нем цифрой или знаком; *5* — резиновый валик; *6* — молоточек, ударом к-рого производится печать.

бумажная лента во время печати остается неподвижной, обеспечивают скорость печати до 90—150 строк в мин.; в) машины с цифровыми колесами, печатающие на непрерывно движущейся ленте (рис. 3); скорость печати — до 900 строк в мин.; г) матричные печатающие устройства (рис. 4), в которых каждый печатный знак образуется из совокупности точек с помощью прямоугольной матрицы; на матрицу воздействуют 35 (7×5) независимо управляемых проволочных пуансонов, комбинации к-рых образуют требуемый знак. В отличие от рассмотр. выше устройств, матричные П. у. не требуют дополнит. времени на набор печатаемого знака.

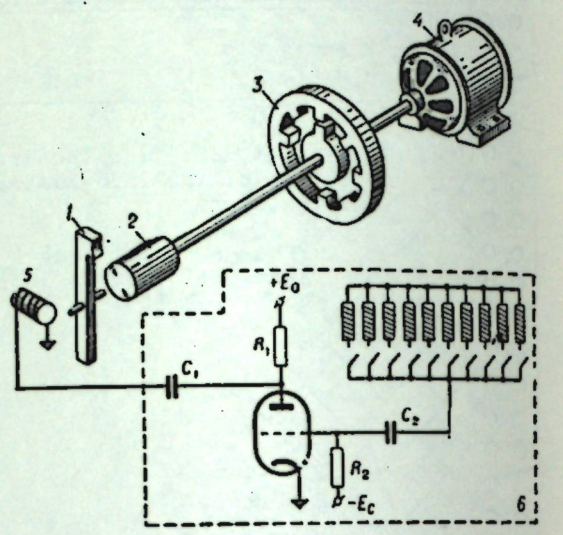


Рис. 2. Схема колесного печатающего устройства (синхропринта): *1* — молоточек; *2* — печатающее колесо; *3* — генератор импульсов; *4* — электродвигатель; *5* — соленоид, приводящий в действие молоточек; *6* — цепь соленоида.

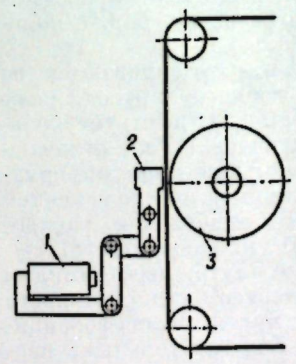


Рис. 3.

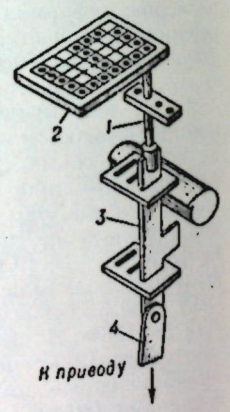


Рис. 4.

Рис. 3. Схема печатающего устройства с цифровыми колесами: *1* — электромагнит; *2* — молоточек; *3* — печатающее колесо.

Рис. 4. Схема матричного печатающего устройства: *1* — пуансон (35 штук); *2* — матрица; *3* и *4* — рычаги.

Среди быстропечатающих устройств наиболее распространены фотооптические с электронным или электромеханич. развертыванием изображения. В фотооптич. устройствах в зависимости от их конструкции печатаемые знаки воспроизводятся либо в виде матрицы светящихся элементов, либо на экране электронолучевой или спец. индикаторной трубки. Фотооптич. печать позволяет с одной матрицы снимать до 2000 знаков в сек. Последнее время получают распространение электрографич. П. у., не содержащие сложных электромеханич. устройств. При

электрографич. (ксерографической) печати на движущуюся бумагу с помощью матрицы электродов наносится поверхностный заряд в форме печатаемого знака. В местах нанесения заряда к бумаге пристает образующий изображение красящий порошок, к-рый затем закрепляется различными способами. Аналогичная матрица электродов используется и в устройствах искровой печати, когда знаки прожигаются в виде отверстий в бумаге либо образуются от воздействия искры на чувствит. слой спец. электрографич. бумаги. Разновидностью этого способа является электрохимич. способ, при к-ром бумага, пропитанная соответствующим электролитом, соприкасается с печатающими электродами. Изображение получается в результате цветной химич. реакции в местах прохождения импульсов тока. В зависимости от конструктивных и технологич. особенностей описанные устройства позволяют печатать результаты со скоростью от 100 (электрохимический) до 3000 (электрографический) знаков в сек.

Лит.: Анисимов Б. В., Четвериков В. Н., Основы теории и проектирования цифровых вычислительных машин, М., 1962; Броун Р., Автоматизация учета, пер. с англ., Л., 1960.

М. Г. Гаазе-Рапопорт.

ПЕЧАТНАЯ СХЕМА (printed circuit; circuit imprimé; gedruckte Schaltung) (печатный монтаж) — монтажный узел электронной аппаратуры, при к-ром соединит. проводники схемы наносятся на изолирующее основание (пластину) полиграфич. методом. К концам проводников П. с. подпаивают выводы или перемычки из монтажных проводов, соединяющих печатные проводники с навесными элементами схемы. Применение П. с. во много раз уменьшает габариты аппаратуры и коренным образом изменяет технологию ее производства (отпадает трудоемкий ручной монтаж, уменьшается число паяных соединений), дает возможность автоматизировать произ-во, повышает однородность продукции и ее надежность. Материал пластины должен хорошо сцепляться с металлом, обладать высокой механич. прочностью, малым коэфф. усадки и сохранять свои свойства при воздействии климатич. факторов. К материалам, частично удовлетворяющим перечисленным требованиям, относятся: высокочастотные органич. материалы, гетинакс, материалы на основе фенолоформальдегидных смол, керамика и стекло. Наиболее часто применяются след. способы нанесения изображения: типографский, фотохимич. с применением различных светочувствит. эмульсий, нанесение восковых смесей и лаковых пленок через металлич. трафарет, офсетная печать. Наиболее производительны фотохимический способ и офсетная печать, для которых существует хорошо разработанная технология изготовления П. с.

В зависимости от материала пластины П. с. изготовляются след. методами: травлением фольгированного диэлектрика; штамповкой фольги, с вырубкой рисунка схемы и одновременным приклеиванием его к пластине; нанесением через трафарет серебряного рисунка на пластину из керамики, слюды, стекла с последующим вжиганием серебра; нанесением схемы на пластину электрохимич. осаждением меди, запрессовкой проводников, переносом гальванически осажденной печатной схемы с матрицы на основание.

Применяются след. способы пайки выводов радиодеталей или проводов монтажа с токоведущими проводниками П. с.: обычная с помощью электропаяльника; механизированная с предварит. ручным закреплением выводов деталей в отверстиях печатной пластины и последующим паянием точек соединений погружением в расплавленный припой (эти способы ввиду низкой производительности применяются в основном в мелкосерийном и опытном производствах). В массовом и крупносерийном производствах детали устанавливают на пластину на автоматич. линии с последующей пайкой точек контактных соединений погружением в расплавленный припой. Для защиты пластин печатного монтажа от воздействия механич. и климатич. факторов на них пульверизационным способом с последующей сушкой на воздухе или в термостате наносят слой электроизоляционного лака.

Печатные проводники схемы располагаются на одной или на двух сторонах пластины. При одностороннем расположении П. с. значительно усложняется задача конструирования, но обеспечиваются технологич. и экономич. преимущества (напр., возможность пайки погружением). Одностороннее расположение широко применяется для сравнительно простых П. с. Двухстороннее расположение проводников П. с. целесообразно применять для сложных схем, требующих при одностороннем расположении проводников большого количества перемычек, и в случае двухпластинной или многопластинной конструкции узла, когда необходимо соединять проводники пластин и выводы деталей, расположенных на разных пластинах, между собой, а также при проектировании сверхминиатюрной компактной аппаратуры. При размещении деталей на пластине стремятся обеспечить миним. длину проводников и минимум их пересечений. При двухстороннем размещении пересекающиеся проводники располагают на разных сторонах изолирующей пластины. С одной стороны пластины на др. печатные проводники переводят с помощью металлич. слоя, к-рый отлагается на стенках отверстий одновременно с нанесением проводников.

Толщина и ширина печатного проводника выбираются в зависимости от его материала, плотности тока, передаваемой мощности, допустимого падения напряжения, требуемой механич. прочности соединения с изолирующей пластиной и технологии нанесения проводников. Практически ширина печатного проводника от 1 до 4 *мм*. Повышенный нагрев печатного проводника может быть причиной отслаивания его от пластины и последующего разрыва. Для предотвращения вспучивания и отслаивания (напр., при применении гетинакса) в нек-рых частях схемы делаются щелевидные разрывы или окна в виде вытравленных участков. Расстояния между печатными проводниками устанавливают в зависимости от допустимых напряжений. Минимально допустимое расстояние между краями проводников составляет 1,0—1,5 *мм*. Печатные проводники соединяются с выводами навесных радиодеталей (сопротивлений, конденсаторов и др.) и монтажными перемычками пайкой припоем ПОС-60. В местах пайки печатный проводник несколько расширяется и

охватывает отверстие, внутренняя поверхность которого также металлизирована и составляет единое целое с проводником. Для наиболее полного заполнения отверстий в П. с. припоем их диаметр должен быть больше диаметра соединит. проводника или вывода радиодетали на 0,5 *мм*. Увеличение расширенной части печатного проводника приводит к увеличению прочности его соединения с пластиной. Часто для упрочнения соединения проводников с пластиной на концах соединит. проводников схемы развальцовывают пустотелые металлич. пистоны. Механизированная и автоматизированная сборка и монтаж печатных пластин возможны только при одностороннем расположении деталей П. с., когда на одной стороне пластины расположены все навесные элементы (в том числе различные перемычки и узлы), а на др. — все печатные проводники и соединения их пайкой с навесными элементами. Автоматизация сборки аппаратуры при использовании П. с. во многом зависит от конструкции выводов деталей. Из соображений технологичности лучшей конструкцией вывода считается круглый проволочный вывод, легко выполняемый и сгибаемый в кольцеобразную или иную форму.

Техника печатного монтажа требует применения унифицированных стандартных конструкций и габаритов радиоэлектронных деталей и элементов схемы. Большие перспективы открывает применение П. с. при изготовлении приборов и узлов сравнительно сложной конструкции. Широкое внедрение П. с. коренным образом изменяет технологич. процесс изготовления радиоэлектронной аппаратуры в сторону частичной и полной его автоматизации. Ведутся работы над освоением пром. методов получения печатным способом ряда деталей и элементов электрич. схемы. Катушки индуктивности наносят на поверхность изоляц. основания в виде спирали, исходящей от центра. Качество их (добротность) определяется в основном толщиной слоя токопроводящего рисунка и материалом пластины. Печатные сопротивления пост. величины получают нанесением на изолирующее основание прямоугольного рисунка из графитной суспензии с сажей. Конденсаторы пост. емкости сравнительно небольшой величины получают нанесением на двух взаимнопротивоположных сторонах изолирующего основания металлизированного слоя, выполняющего функцию обкладок. Проводятся также работы по освоению и внедрению печатных многовитковых катушек, печатных тр-ров и др. сложных элементов схемы.

П. с. широко применяются в аппаратуре пром. электроники, в различных усилит. схемах, в радиоаппаратуре, в элементах вычислит. и др. устройств, изготовляемых в больших количествах.

Лит.: Ефимов А. Я., Печатные схемы и их изготовление, М., 1958. *Е. Ю. Намиот.*

ПИК-ВОЛЬТМЕТР (peak voltmeter; voltmètre de crête; Spitzenspannungsmesser) — ламповый вольтметр для измерения амплитудных значений синусоидального (или пиковых значений несинусоидального) напряжения. Представляет собой диодный *ламповый вольтметр* с большой пост. времени разрядной цепи (пост. времени разряда должна быть много больше периода измеряемого перем. напряжения). *Р. В. Фельдман.*

ПИК-ТРАНСФОРМАТОР (peak transformer; transformateur de crête; Spitzentransformator) — трансформатор с насыщающимся сердечником, вырабатывающий на вторичной обмотке импульсы напряжения при питании цепи первичной обмотки синусоид. напряжением. Применяется для управления газоразрядными приборами (тиратронами, ртутными выпрямителями и др.). П.-т. может иметь различное конструктивное и схемное выполнение.

Первичная обмотка w_1 П.-т. с магнитным шунтом (рис. 1) располагается на сердечнике магнитопровода *1*, имеющем относительно большое сечение; вторичная обмотка w_2 — на

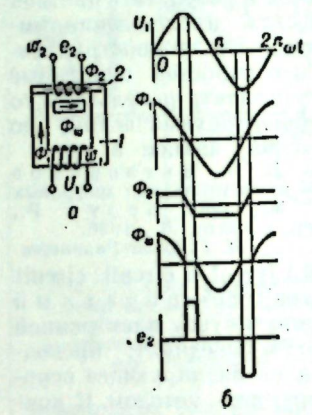


Рис. 1.

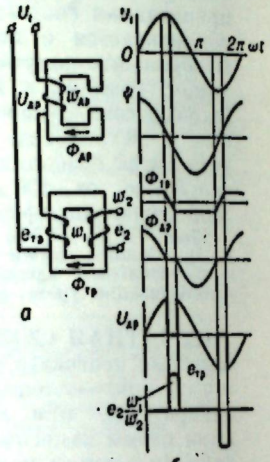


Рис. 2.

Рис. 1. Пик-трансформатор с магнитным шунтом: *а* — схема; *б* — графики напряжений и потоков.

Рис. 2. Пик-трансформатор с линейным дросселем: *а* — схема; *б* — графики напряжений, потокосцепления и потоков.

сердечнике из пермаллоя *2* с меньшим сечением. w_1 питается синусоид. напряжением. Сердечник *1* остается ненасыщенным в течение всего периода. Магнитный поток Φ_1, создаваемый обмоткой w_1, почти полностью проходит через сердечник *2* ($\Phi_1 \simeq \Phi_2$) до тех пор, пока сердечник *2* не насыщен. При насыщении сердечника *2* поток Φ_2 остается практически постоянным, и избыточный поток $\Phi_1 - \Phi_2 = \Phi_ш$ замыкается через магнитный шунт. В интервалах, когда происходит изменение потока Φ_2, на обмотке w_2 наводится эдс e_2, имеющая в идеальном случае форму вырезанных из синусоиды пиков. Амплитуда пиков зависит от отношения w_2/w_1, а ширина пиков — от потока насыщения сердечника *2*. Магнитное сопротивление шунта оказывает влияние на величину тока в обмотке w_1 в интервалах, когда сердечник *2* насыщен.

На рис. 2 дана схема П.-т. с линейным дросселем. Первичная обмотка w_1 тр-ра, выполненного на насыщающемся сердечнике, соединена последовательно с обмоткой $w_{др}$ линейного дросселя. Цепь питается от источника синусоид. напряжения U_1. Суммарное потокосцепление первичной цепи $\psi = \Phi_{тр} w_1 + \Phi_{др} w_{др}$, если активное сопротивление обмоток w_1 и $w_{др}$ весьма мало, будет изменяться по косинусоид. закону. П.-т. выполняется так, что индуктивность линейного дросселя значительно меньше индуктивности обмотки w_1 тр-ра, когда его сердечник не насыщен. В интервалах, когда магнитный поток тр-ра $\Phi_{тр}$ меньше потока насыщения, практически все напряжение U_1 падает на обмотке w_1 и $\Phi_{тр} \simeq \psi/w_1$, а

$\Phi_{др} \simeq 0$. В интервалах, когда сердечник тр-ра насыщен, поток $\Phi_{тр}$ не изменяется и напряжение U_1 падает на обмотке $w_{др}$ линейного дросселя. Поток дросселя изменяется при этом по закону $\Phi_{др} = (\psi - \Phi_{тр} w_1)/w_{др}$. В интервалах ненасыщ. состояния сердечника тр-ра на вторичной обмотке w_2 наводятся пики эдс. *Е. Л. Львов.*

ПИЛООБРАЗНОЕ НАПРЯЖЕНИЕ (sawteeth voltage; tension en dents de scie; sägezahnförmige Spannung) — см. *Генератор развертки.*

ПИРОМЕТР ОПТИЧЕСКИЙ (яркостный, частичного излучения) (optical pyrometer, brightness pyrometer, partial radiation pyrometer; pyromètre optique, pyromètre de brillance; optisches Pyrometer, Helligkeitspyrometer, Teilstrahlungspyrometer) — прибор для измерения темп-ры поверхности нагретых тел и сред по энергетич. яркости их излучения в диапазоне длин волн, достаточно узком (0,15 *мк* и менее), для того чтобы излучение можно было рассматривать как монохроматич., описываемое уравнением Планка — Эйнштейна. Поскольку это ур-ние справедливо лишь для абс. черного тела, П. о. при измерении темп-ры реальных объектов показывает псевдотемпературу (меньшую действит.), наз. яркостной (см. *Температур измерение*). Для тел и сред, оптически частично прозрачных, П. о. показывает яркостную темп-ру, зависящую от поверхностной и глубинной темп-р объекта. Переход от яркостной темп-ры, измеряемой П. о., к действит. требует знания спектральной излучат. способности объекта измерения в заданном псевдомонохроматич. излучении. Этот переход осуществляется введением поправки на неполноту излучения. Некоторые модели технич. П. о. снабжены устройством для полуавтоматич. введения этой поправки по заданному значению излучат. способности. Последняя, для наиболее общепринятой в оптич. пирометрии длины волны $\approx 0{,}65$ *мк*, хорошо изучена для многих объектов, что, наряду с высокой точностью и воспроизводимостью измерений, является одной из причин широкого распространения П. о. и выбора его в качестве интерполяционного прибора для воспроизведения Международной температурной шкалы (МТШ) свыше 1063°С. П. о. по методу измерения энергетич. яркости разделяются на фотометрич. и радиометрич. (табл.).

В фотометрических П. о. темп-ра объекта измеряется уравниванием монохроматической яркости объекта и встроенного в пирометр эталона яркости (пирометрич. лампы накаливания) путем изменения либо действит. яркости эталона, либо яркости объекта, воспринимаемой фотоэлектрич. чувствит. элементом П. о. (или глазом наблюдателя). Уравнивание монохроматич. яркостей двух источников определяется объективно (по равенству сигналов фотоэлементов от одного и от др. источника) или визуально (по невозможности раздельного видения одного источника на фоне др.). Для измерения визуальным фотометрич. П. о. типов I и VI (рис. 1, *а* и *б*), а также типов III и IV температуры объекта, нагретого выше начала видимого каления ($\approx > 700$°С), П. о. визируют на объект так, чтобы изображение объекта перекрыло весь рабочий участок нити пирометрич. лампы. Яркости объекта и нити лампы в П. о.

Группа	Фотометрич. оптич. пирометры						Радиометрич. оптич. пирометры
Метод измерения яркости	Компенсац. (нулевой) метод измерения монохроматич. яркости; встроенный в пирометр эталон яркости (эталон сравнения)						Прямое измерение монохроматич. яркости; эталона сравнения нет
Изменяемая и пост. яркости	С изменяемой яркостью эталона сравнения и неизменяемой яркостью объекта			С пост. яркостью эталона сравнения и изменяемой видимой яркостью объекта			—
Электроизмерит. прибор	С электроизмерительным прибором: а) непосредственной оценки, б) нулевым (компенсатором, мостом)		Без электроизмерительного прибора	С электроизмерит. прибором: непосредственной оценки (вспомогат. для контроля постоянства тока)			С электроизмерит. прибором: а) непосредственной оценки, б) нулевым (компенсатором, мостом)
Род нулевого прибора или чувствит. элемента и способ уравнивания яркостей	Нулевой прибор: глаз; уравнивание: ручное	Нулевой прибор: фотоэлемент; уравнивание: а) ручное, б) автоматич.	Нулевой прибор: глаз; уравнивание: ручное	Нулевой прибор: фотоэлемент; уравнивание: автоматическое	Нулевой прибор: глаз; уравнивание: ручное		Чувствит. элемент (датчик): фотоэлемент
Отсчет темп-ры	По показанию электроизмерит. прибора		По положению движка реостата эл. схемы изменения яркости эталона	По положению подвижной части устройства (оптич. клина) для измерения видимой яркости объекта			По показанию электроизмерит. прибора
Тип оптич. пирометра	I	II	III	IV	V	VI	VII

типов I (рис. 1, *а*) и III уравнивают изменением тока накала, темп-ру отсчитывают по миллиамперметру (в П. о. типа I) или посредством оптико-электрич. схемы (в П. о. типа III). В П. о. типа VI (рис. 1, *б*) ток накала поддерживают пост., с тем, чтобы яркостная темп-ра нити в начале шкалы была равна 800°С, что достаточно для надежного визуального наблюдения. Яркости уравнивают, вводя в поле зрения оптически нейтральный (серый) клин,

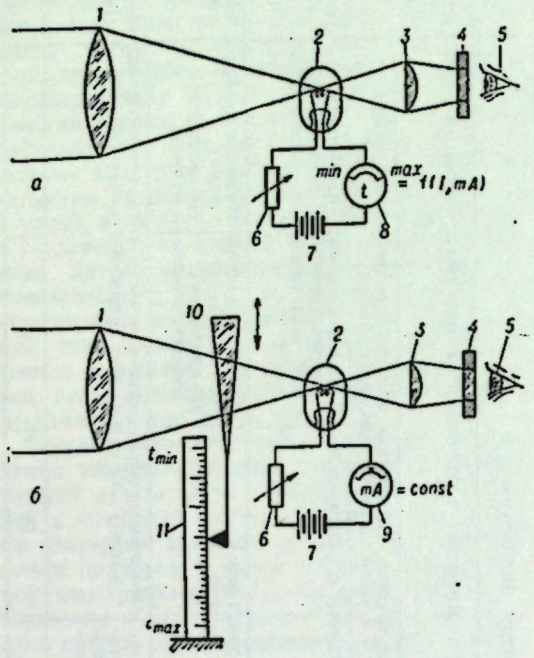


Рис. 1. Оптич. фотометрич. визуальные пирометры с электроизмерит. прибором: *а* — тип I, с эталоном сравнения изменяемой яркости; *б* — тип VI, с эталоном сравнения пост. яркости; *1* — линза объектива; *2* — пирометрич. лампа; *3* — линза окуляра; *4* — монохроматич. светофильтр и выходная диафрагма; *5* — глаз измерителя; *6* — реостат; *7* — источник тока; *8* — миллиамперметр, градуированный в градусах яркостной темп-ры лампы *2*; *9* — миллиамперметр со шкалой с одной контрольной отметкой (по току); *10* — нейтральный (серый) оптич. клин (ослабитель); *11* — шкала положения ослабителя, градуированная в градусах яркостной темп-ры лампы *2*.

спектрально неизбирательно ослабляющий видимую наблюдателем яркость изображения объекта. Значение темп-ры отсчитывают по положению клина. Этот П. о. по сравнению с П. о. типа I имеет более низкую и пост. температуру нити лампы (что обеспечивает большее постоянство ее хар-к) и бо́льшую точность в нач. части шкалы; его недостаток — технологич. трудность изготовления длительно стабильных невыцветающих клиньев-ослабителей. Монохроматизация наблюдаемых излучений достигается цветными (обычно красными) стеклянными светофильтрами, в нек-рых точных приборах — монохроматорами (спектропирометры).

Верхний предел измерения фотометрич. П. о. ограничен верхним пределом темп-ры пирометрич. лампы, т. е. 1400—1500°С. Возможность измерения более высоких темп-р (до 6000° и даже до 10 000°С) обеспечивается введением в поле зрения (между объективом и пирометрич. лампой или перед объективом) нейтрального (серого) ослабителя. В наиболее точных лабораторных и эталонных П. о. применяется оптически более совершенный, чем ослабитель, вращающийся обтюратор. Обычно технич. визуальные фотометрич. П. о. имеют 2 предела измерения, а лабораторные — до 3 — 5 пределов, лежащих в интервале от 700° до 6000°С. Общая погрешность П. о. растет с темп-рой, составляя для технич. визуальных приборов от ±8° до ±20°С в интервале 800—1400°С и от ±130° до ±250° С в интервале 2200—6000°С.

Радиометрические П. о. являются приборами непосредственной оценки и могут быть выполнены только с фотоэлементом. Их метрологич. свойства, как не нулевых приборов, принципиально ниже, чем у фотометрич. П. о.

Наиболее распространены П. о. типа I. За последнее десятилетие успехи фотоэлектроники стимулировали интенсивное развитие П. о. типа II с автоматич. наводкой и типа VII как приборов промышленного контроля, нередко с автоматич. (самоуравновешивающимися) компенсаторами и мостами, и типа II с ручной наводкой как приборов для научных измерений наивысшей метрологич. точности. П. о. типов III и IV, несмотря на простоту, малый вес и габариты, не получили распространения вследствие относит. меньшей точности и достоверности.

В автоматич., фотометрич., фотоэлектрич. П. о. типов II и V измеряемая и образцовая яркости сравниваются электроизмерит. схемой, в к-рую поступают сигналы фотоэлементов, облучаемых источниками яркостей. Фотоэлементов может быть 2, но более распространены одноканальные схемы, в которых один и тот же фотоэлемент облучается поочередно двумя источниками яркостей. При неодинаковости сигналов фотоэлементов измерит. схема вырабатывает сигнал перем. тока, амплитуда к-рого характеризует неполноту уравнивания яркостей, а фаза — необходимый для уравнивания знак изменения регулируемой яркости. Усиленный сигнал схемы используется для изменения тока накала лампы, обеспечивающего равенство яркостей (тип II, рис. 2), или перемещения (посредством реверсивного двигателя) нейтрального оптич. клина (тип V). Т. о., эти П. о. представляют собой следящие системы с обратной связью по световому потоку, могущие записывать темп-ру и давать управляющие сигналы. Примером автоматич. П. о. типа II может служить отечеств. прибор ФЭП-3 (рис. 2) с вакуумным сурьмяно-цезиевым фотоэлементом и красным светофильтром, совместно обеспечивающими эффективную длину волны ок. 0,65 *мк*. ФЭП-3 можно градуировать как обычный визуальный П. о. Прибор охватывает пределы измерений от 600° до 1800°С, разделенные на 5 поддиапазонов. Его быстродействие 2,5 сек., основная погрешность мала (±1% от верхнего предела шкалы), т. к. ток фотоэлемента изменяется пропорц. 10—12 степени абс. темп-ры излучателя. В автоматич. П. о. типа II (в меньшей мере типа V) можно использовать фотоэлементы, чувствит. к инфракрасной части спектра (напр., фотосопротивления PbS и PbSe). Это позволяет снизить начало шкалы прибора до ≈+150°С. Однако при этом оптич. система усложняется и удорожается, погрешность возрастает. Достоинство П. о. типа II — их быстродействие, к-рое применением осциллографа можно довести до неск. десятых долей

сек. Чувствительность П. о. типа II может быть сделана на 1 порядок больше, чем у П. о. типа I: в интервале 900—1400°С порог чувствительности (средняя квадратичная погрешность сличения яркостных темп-р) прибора

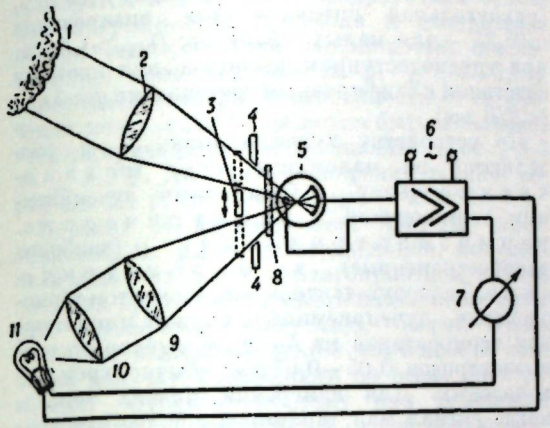


Рис. 2. Оптич. фотометрич. автоматич. пирометр ФЭП-3 (типа II); *1* — нагретое тело (излучатель), темп-ра к-рого измеряется; *2*, *9* и *10* — линзы объективов; *3* — вибрирующая заслонка с электромагнитным приводом (пунктиром показаны два ее крайних положения); *4—4* — неподвижная диафрагма; *5* — фотоэлемент; *6* — фазочувствит. усилитель; *7* — электроизмерит. прибор; *8* — красный монохроматич. светофильтр; *11* — пирометрич. лампа.

наивысшей метрологич. точности серии СПК (спектропирометрич. компаратор) — ± 0,02° до ±0,08°С, лабораторного фотоэлектрич. спектропирометра СПП-58—±0,05° до ±0,1°С, а лучшего лабораторного визуального пирометра ЭОП-51 ⩾ ± 0,5°С. Технич. П. о. типа II может иметь диапазон шкалы всего 5°С, что существенно при контроле и регулировании процессов, для к-рых темп-ра является критич. фактором.

Автоматич. радиометрич. фотоэлектрич. П. о. типа VII состоят из оптич. системы, направляющей излучение

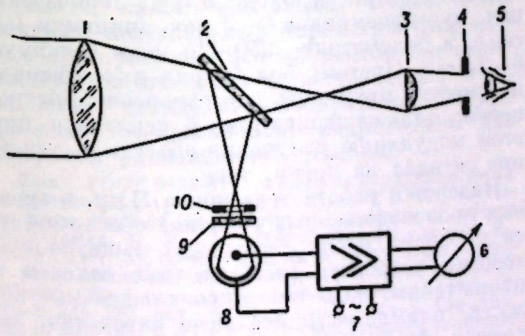


Рис. 3. Оптич. радиометрич. автоматич. пирометр типа VII: *1* — линза объектива; *2* — полупрозрачная пластина; *3* — линза вспомогат. окуляра (для визирования объекта при установке пирометра); *4* и *10* — выходные диафрагмы; *5* — глаз оператора при визировании; *6* — электроизмерит. прибор, градуированный в градусах темп-ры излучателя; *7* — усилитель; *8* — фотоэлемент; *9* — красный монохроматич. светофильтр.

объекта через монохроматизирующий фильтр на фотоэлемент, сигнал к-рого усиливается и подается на измерит. прибор. Чтобы избежать применения малостабильных усилителей пост. тока, модулируют световой поток объекта (одновременно отфильтровывают оптич. помехи) или сигнал фотоэлемента наложением на него напряжения переменного тока (рис. 3). Частотой модуляции (напр., 4000 *гц*) определяется макс. возможная скорость изменения измеряемых темп-р. Пост. времени прибора может быть доведена до единиц миллисекунд. Погрешность П. о. типа VII, работающих на эффективной длине волны ≈0,65 *мк*, от ±10° до ±20°С при измерении темп-р от 700° до 3000°С; на более длинных волнах погрешность растет. Основные достоинства П. о. типа VII — их простота и быстродействие.

Для автоматич. П. о. типов II, V, VII перспективны фотоэлектромагнитные элементы InSb (спектральная чувствительность от 1 до 7 *мк*, при постоянной времени <1 *мксек*) и оптико-акустич. приемники (см. *Газоанализатор оптико-акустический*), остроселективное поглощение энергии излучения к-рыми позволяет отказаться от светофильтра. Градуировка и поверка П. о. производятся образцовыми П. о., градуированными по пост. точкам МТШ и до 3200°С — образцовыми излучателями, выше — расчетным путем.

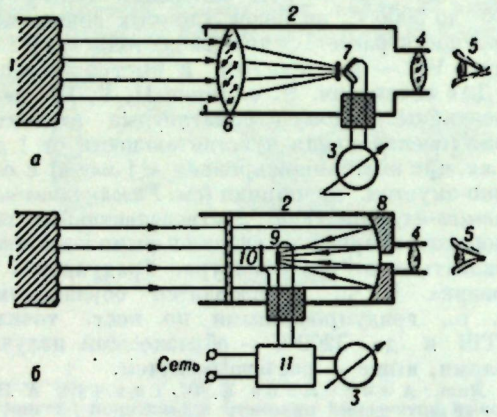
Лит.: Анисимова Е. Ф., Томчук А. Н., Новый оптический пирометр повышенной точности типа ОПК-57, «П», 1959, № 8, с. 29; ГОСТ 8335—59. Пирометры оптические; Гуревич А. М., Объективный оптический пирометр, «ЗЛ», 1950, т. 16, № 11, с. 1336—41; Кандыба В. В., Приборы для точного измерения высоких температур, «ИТ», 1956, № 1, с. 36—38; Катыс Г. П., Оптические датчики температуры, М.—Л., 1959; Ковалевский В. А., Боярский Л. А., Объективный спектропирометр СПК-2, «ИТ», 1958, № 6, с. 57—58; Финкельштейн В. Е., Старунов Н. Г., Спектропирометр для измерения температуры по монохроматическому инфракрасному излучению, «ПТЭ», 1960, № 3, с. 122—25; Фрейверт С. И., Приспособление к оптическому пирометру с исчезающей нитью для расширения его шкалы на низкие температуры, «ДАН СССР. Нов. серия», 1944, т. 43, № 6, с. 252—53; Ackerman S., Lord J. S., Automatic brightness pyrometer uses a photomultiplier «Eye», «ISA Journal», 1960, v. 7, № 12, p. 48—51; Blum N. A., Recording optical pyrometer, «Rev. Scient. Instrum.», 1959, v. 30, № 4, p. 251—53; Langer V., Koluch J., Optický pyrometrs infračerveným převadečem obrazu pro měření nízkých teplot, «Jemná Mechanika Optika», 1959, ročník 4, № 7, s. 220—27; Lee R. D., Un nouveau pyromètre photoélectrique, «Mesures et contrôle industr.», 1962, v. 27, № 300, p. 647—53; см. также лит. при ст. *Температур измерение*.

Д. Л. Оршанский.

ПИРОМЕТР РАДИАЦИОННЫЙ (radiation pyrometer, total radiation pyrometer; pyromètre à radiation totale; Gesamtstrahlungspyrometer) — прибор для измерения радиационной темп-ры поверхности объекта (тела или среды) по его суммарной (по всему спектру) энергетич. яркости, оцениваемой по тепловому действию излучения объекта. П. р. обеспечивает объективное автоматич. и непрерывное измерение, запись и регулирование темп-ры только температурных излучателей, но непригоден для излучателей люминесцентных. П. р. состоит из телескопа и измерителя. В телескопе находятся: оптическая система, визируемая на объект (с помощью окуляра, позволяющего видеть лучеприемник на фоне изображения объекта), и лучеприемник, воспринимающий поток с одинаковой по всему спектру чувствительностью. В лучеприемнике вся энергия излучения объекта преобразуется в тепловую форму, повышая темп-ру теплочувствительного элемента (термометра лучеприемника). Повышение темп-ры последнего измеряется измерителем и служит мерой радиационной темп-ры объекта. П. р. пригоден для измерения темп-р, не только бо́льших темп-ры лучеприемника, но и меньших: в этом

случае мерой темп-ры объекта является понижение темп-ры лучеприемника, излучающего энергию на холодный объект.

По устройству оптич. системы П. р. разделяют на рефракторные (с линзой, рис., *а*) и рефлекторные (с зеркалом, рис., *б*). Линзовая оптика искажает поток и спектр излучения (особенно в инфракрасной



Примеры схем радиационных пирометров: *а* — с рефракторным телескопом и термоэлектрич. лучеприемником; *б* — с рефлекторным телескопом и болометрич. лучеприемником; *1* — излучатель (объект); *2* — телескоп; *3* — электроизмерит. прибор; *4* — окуляр (только для наводки при установке); *5* — глаз наблюдателя (только при наводке); *6* — линза объектива; *7* — термоэлектрич. лучеприемник; *8* — зеркало; *9* — болометрич. лучеприемник; *10* — экран от прямого облучения; *11* — измерит. схема болометра.

части), а также изображение объекта больше, чем зеркальная, но делает излишними обязательные в рефлекторных телескопах защитные окна (из кварцевого стекла, полиэтиленовой пленки и т. п.), заметно снижающие сигнал. Линзы телескопов П. р. изготовляют из материалов (оптическое и кварцевое стекло, синтетические кристаллы), прозрачных в рабочей части спектра (см. *Спектроскопия инфракрасная*). Зеркала применяют сферич., реже конич. формы, одинарные и сдвоенные, из нержавеющей стали, из латуни с родиевым покрытием и др.

В телескопах технич. П. р. для простоты и надежности положение лучеприемника относительно оптич. системы фиксировано, поэтому размеры изображения объекта изменяются с расстоянием от него до телескопа, т. е. изменяется плотность суммарной (по всему спектру) энергетич. яркости изображения, а значит и сигнал лучеприемника. Вследствие этого П. р. целесообразно применять как стационарный или переносный прибор с фиксированным расстоянием до объекта. Практически правильный результат измерения получается (особенно при короткофокусной оптике), начиная с известного, различного для разных телескопов, минимального расстояния (0,15—0,5 *м*) в пределах нек-рого интервала расстояний (0,5—1,5 *м*). Обязательно при этом соблюдение определенного отношения (именуемого показателем визирования m) размеров объекта (диаметра D круга, вписанного в его контуры и перпендикулярного линии визирования) к расстоянию до телескопа. Значение m характеризует полное перекрытие поверхности лучеприемника потоком излучения объекта и приблизительно постоянно лишь в указанном интервале расстояний, за его пределами оно изменяется с расстоянием; поэтому П. р. сравнивают при номинальном значении m для расстояния 1 *м*. Наиболее обычны приборы с $m \approx {}^1/_{15}-{}^1/_{20}$ для $D \approx 50-100$ *мм*. Крайние значения m от ${}^1/_4$ (широкоугольная оптика для больших объектов) до ${}^1/_{170}$ (узкоугольная оптика — угол визирования $\approx 0°,35$ — для малых объектов: $D_{мин} \geqslant 1{,}5$ *мм*, при труднодоступном расположении иногда в сочетании с сапфировыми световодами $\phi \approx 3$ *мм*, $l \leqslant 250$ *мм*).

По устройству лучеприемника П. р. разделяются на малоприменяемые механические (напр., с биметаллич. лучеприемным термометром) и электрические: термоэлектрические (наиболее распространенные) и болометрические. Теплочувствительным элементом термоэлектрич. лучеприемников служит миниатюрная термобатарея из 4—20 *термопар* (ϕ термоэлектродов 0,05—0,07 *мм*) обычно хромель-копелевых. Для измерения низких темп-р, когда сигнал мал, применяют более чувствительные полупроводниковые термопары, например Sb—Bi. Рабочие концы термобатареи покрывают платиновой чернью или сажей для повышения излучат. способности до 0,97—0,99. Термобатарею заключают для механич. защиты в стеклянный баллон (газополный или эвакуированный) либо монтируют открыто, избегая ослабления сигнала вследствие поглощения в стекле. Термобатареи снабжают различными устройствами для снижения влияния темп-ры телескопа на их сигнал: изменение последней на —10°С или +20°С относительно градуировочной +20°С вызывает изменение показаний технич. термоэлектрич. П. р. на ±3—4°С, а нагрев телескопа до 100°С — погрешность ±20°С. Болометрич. лучеприемники выполняют из проволочных или ленточных платиновых термосопротивлений с зачерненной поверхностью или из полупроводниковых термисторов. Они имеют большую чувствительность и малую инерционность (на 2—3 порядка меньше, чем термоэлектрич.): инерционность (при недоходе в 1%) термоэлектрич. лучеприемников 6—2 сек. (минимум 0,6 сек.), а болометрич. 250—25 *мсек* (минимум 6—2 *мсек*). Поэтому болометрич. лучеприемники уместно применять для измерения быстроперем., а также низких темп-р, используя при этом модуляцию излучения объекта и усиление сигнала на перем. токе.

Надежная работа телескопов П. р. в суровых производственных условиях обеспечивается наборами взаимосочетаемых защитно-монтажных устройств (установочные захваты и кронштейны, водо- и воздухоохлаждаемые кожухи, пламяпреградительные автоматич. заслонки, калильные и визирные трубки и др.).

Измерителями электрич. П. р. служат электроизмерит. приборы непосредственной оценки и автоматич. приборы: мосты для болометрич. и компенсаторы (потенциометры) для термоэлектрич. П. р. Шкалы измерителей П. р. резко неравномерны, расширяются к концу, описываются теоретически уравнением 4-й степени, практически $\approx 4{,}5$-й. Градуировка осуществляется: первичная — по искусственному черному телу сравнением с показаниями образцового оптич. или термоэлектрич. пирометра, вторичная — сличением на излучателе в виде ленточной лампы накаливания с показаниями однотипного образцового телескопа П. р. Возможны индивидуальная градуировка для данного комплекта П. р. или групповая — для взаимозаменяемых телескопов определенной модели.

Основная погрешность комплектного П. р. образуется как средняя квадратичная основных погрешностей телескопа и измерителя: первая (относительная погрешность) составляет для термоэлектрич. П. р. ± 1,0—2,5% измеряемой темп-ры (в зависимости от ее значения; ниже ≈ 350°С она может быть и больше), вторая (приведенная погрешность) — от ±0,5 до ± 1,5%. Диапазон измерений технич. серийных П. р. от —100° С до + 4000°С.

Переход от радиационной темп-ры, показываемой П. р., к действительной, могущей отличаться от нее в неблагоприятном случае на сотни градусов, осуществляется пересчетом (см. *Температур измерение*), обычно очень неточным вследствие малой изученности значений излучат. способности по всему спектру технич. объектов. Поэтому при измерении температуры посредством П. р., за исключением случаев практически черного излучения объекта (напр., излучения замкнутого прибл. равномерно нагретого объема печи через малый глазок), стремятся автоматизировать поправку на нечерноту излучения реальных объектов периодич. (напр., раз в смену) подгонкой вручную показаний П. р. к одновременным показаниям образцовых приборов (напр., оптич. или термоэлектрич. пирометра); искусственным созданием условий практически черного излучения объекта (введением закрытым концом в объект, напр. печь, калильной трубки, нагретая полость к-рой излучает как приблизительно черное тело; наложением на поверхность объекта полусферич. экрана, в вершине к-рого расположен телескоп П. р.), ограничением используемого излучения участком спектра, в к-ром объект излучает как черное тело (напр., стекло от 4 до 8 *мк*).

Разновидностью П. р. являются радиометры, актинометры и др. приборы для измерения интегральной мощности излучения, градуируемые в *вт/см²* или *ккал/м²·ч·град*. Фотоэлектрич. интегральные пирометры (пирометры с лучеприемным фотоэлементом без светофильтра) не относятся к группе П. р., т. к. они имеют спектрально-избирательный лучеприемник, принципиально непригодный для измерения радиационной темп-ры.

Лит.: ГОСТ 6923-61. Телескопы радиационных пирометров, М., 1961; Harrison Th. R., Radiation pyrometry and its underlying principles of radiant heat transfer, N. Y.—L., [1960]; Lieneweg F., Schaller A., Neuere technische Strahlungspyrometer unter besonderer Berücksichtigung ihres optischen Aufbaues, Tl 1—2, «Arch. techn. Messen», 1960, J. 321—8, Lfg. 298, nov., S. 241—44; J. 321—9, Lfg. 299, dez., S. 267—68; Lorenz O., Die Messung niedriger Temperaturen mit Strahlungspyrometern, там же, 1959, v. 214—9, Lfg. 276, Jan., S. 11—14; Vollmer J., Rein G. C., Duke J. A., Light guide radiation pyrometry, «J. Opt. Soc. America», 1959, v. 49, № 1, Jan., p. 75—77; Анисимова Е. Ф., Бутусов И. В., Низкотемпературный радиационный пирометр типа РАПИР, «П», 1961, № 2, с. 23—25; см. также лит. при статье *Температур измерение*.

Д. Л. Оршанский.

ПИРОМЕТР ЦВЕТОВОЙ, пирометр спектрального отношения [color (амер.), colour (англ.) pyrometer, two- (three-, multi-) color or two-wave (two wavelength) pyrometer, bichromatic (dichromatic) pyrometer, ratio pyrometer; pyromètre de couleur, pyromètre à deux couleurs, pyromètre bichrome ou bichromatique, pyromètre trichrome; Farb-oder Zweifarbenpyrometer, Verteilungstemperaturmesser], — прибор для измерения цветовой темп-ры поверхности объекта (тела или среды) по относит. распределению спектральной плотности энергетич. яркости его излучения в видимой (и инфракрасной) области спектра, к-рое оценивается путем сравнения с распределением в том же диапазоне спектра излучения абс. черного тела. Оценка осуществляется: 1) экспериментальным построением кривой распределения объекта, сравнением ее с семейством кривых распределения абс. черного тела при разных темп-рах и отысканием такой темп-ры последнего, при к-рой обе кривые макс. совпадают; 2) измерением энергетич. яркостей в 2 (или 3) различных участках спектра, достаточно узких, чтобы их можно было считать практически монохроматич., и определением отношения (или 2 отношений) спектральных плотностей энергетич. яркости. Значение этого отношения (или 2 отношений), прочитанное по шкале отношений, построенной для тех же участков спектра излучения абс. черного тела, является мерой цветовой темп-ры объекта; 3) уравниванием цвета объекта с цветом равнояркостного с ним образцового источника (эталона) излучения, градуированного на темп-ру по абс. черному телу; для этого плавно изменяют спектр. состав (обычно в 2 участках спектра, как в методе 2) видимого излучения объекта, т. е. излучения, воспринимаемого чувствит. органом П. ц.

Метод 1, имеющий значение для спектральных и светотехнич. исследований излучателей, осуществляется с помощью спектрорадиометров, спектроболометров, спектрофотометров и спектропирометров (см. *Пирометр оптический*). Для практики измерения температур наибольшее значение имеет метод 2 (метод спектрального отношения, в частности красно-синего, красно-зеленого и т. п. отношений) и неск. меньше метод 3 (метод идентификации цвета, иначе метод гетерохромной фотометрии). Метод 2 реализуется посредством: а) спектропирометров, б) оптических пирометров визуальных типов с двумя или тремя различными сменными монохроматич. светофильтрами (напр., красным и синим); в) автоматич. (би или три) хроматич. фотоэлектрич. П. ц. спектрального отношения (П. ц. СО), наиболее перспективных из всех видов приборов для измерения и автоматич. контроля цветовых темп-р. Метод 3 осуществляется гетерохромными П. ц. (П. ц. ГХ) — контрастными гетерохромными фотометрами, как правило, ручного действия и визуальными.

П. ц. конструктивно и схемно сложнее др., близких к ним по устройству, пирометров излучения. Применение П. ц., однако, расчет вследствие: а) незначит. расхождения измеренной и действит. темп-ры реального нечерного объекта (меньшего, чем при измерении оптич. или радиационным пирометром); б) независимость показаний от поглощения излучения промежуточной среды, если только она оптически не избирательна; в) возможности получения хорошей линейности инверсной температурной шкалы П. ц. СО, что обеспечивает возможность ее надежной экстраполяции (в цветовой пирометрии темп-ру иногда выражают в шкале обратных градусов, причем пользуются обратными значениями миллионных долей градуса темп-ры,

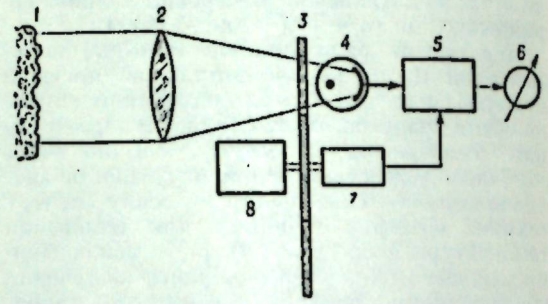
т. е. единицей с размерностью $[10^{-6} \cdot град.]^{-1}$, эта единица за рубежом наз. м а й р и д — mired: по первым слогам англ. слов micro reciprocal degree); в) возможности определения наряду с цветовой также еще и яркостной темп-ры объекта, что для серых тел равносильно определению их спектральной излучат. способности. В И. ц. ГХ температурный излучатель рассматривают через светофильтр, пропускающий лишь 2 узкие полосы излучения красного и зеленого цветов; излучатель представляется наблюдателю белого цвета только при одной его темп-ре, при к-рой отношение физиологич. эффективностей этих двух излучений равно единице. Чтобы и при др. темп-ре излучатель представлялся белым, отфильтровывают избыток зеленого либо красного излучения оптич. бихроматич. клином, т. е. светофильтром, отношение пропусканий к-рого для красного и зеленого излучений плавно изменяется вдоль фильтра. Бихроматич. клин непосредственно градуируют в градусах цветовой темп-ры. Современные И. ц. ГХ выполняют добавлением к фотометрич. пирометрам оптич. типа VI бихроматич. клина и шкалы цветовых темп-р. Эти приборы — цветояркостные пирометры — позволяют измерять поочередно цветовую и яркостную темп-ры, что важно для определения действит. темп-ры объекта.

И. ц. СО характеризуются тем, что в них на чувствит. элемент (в автоматич. приборах — фотоэлемент, в визуальных — глаз) измерит. системы воздействуют, одновременно или чередуясь (всегда порознь), 2 испускаемых объектом потока псевдомонохроматич. видимых или инфракрасных излучений двух различных эффективных длин волн. Эти потоки обусловливают появление двух раздельных сигналов. Измерит. система И. ц. СО сравнивает (обычно автоматически нулевым методом) значения двух сигналов и выдает их отношение (чаще логарифм отношения, обратно пропорц. абс. темп-ре). При сравнении изменяется значение одного из сигналов или его функции (положения нейтрального оптич. клина, падения напряжения, фототока на пост. сопротивлении и т. п.). Изменение продолжается до достижения одним сигналом равенства по величине и знаку (фазе) с др. сигналом и является мерой величины и знака их отношения, т. е. цветовой темп-ры объекта. Весьма упрощенная и обобщенная схема автоматич. И. ц. СО представлена на рис. Реальные схемы автоматич. И. ц. СО различаются: по рабочей области спектра, временной характеристике входного сигнала (непрерывный или модулированный); чувствит. элементу и режиму его работы (релейному или измерительному); роду выходного сигнала (сигнал отношения или логарифма отношения); выходному электроизмерит. прибору (непосредств. оценки, автоматич. нулевой или осциллограф) и др.

Шкалы выходных приборов И. ц. СО могут быть выполнены достаточно линейными лишь в ограниченных интервалах темп-р. Работа во всем потребном интервале темп-р (≈1000—2500°С) обеспечивается подразделением прибора на неск. (от 2 до 6) взаимно перекрывающих пределов измерений (поддиапазонов), выбираемых наблюдателем.

Конструктивно И. ц. СО — стационарные многоблочные приборы, в комплект к-рых входят: водоохлаждаемый телескоп (головка) с чувствит. элементом, устанавливаемый непосредственно у объекта, темп-ра к-рого контролируется, блок питания схемы и формирования сигнала, часто подразделяемый на несколько блоков, и выходной прибор со шкалой.

Основная инструментальная погрешность И. ц. СО: ≈±1% от верхнего предела поддиапазона (лабораторного до ≈± 0,2%); воспроизводимость показаний ≈±0,5% и порог чувствительности ≈± 0,25% от той же величины;



Упрощенная блок-схема автоматич. фотоэлектрич. цветового пирометра спектрального отношения: *1* — объект; *2* — объектив; *3* — обтюратор с псевдомонохроматич. светофильтрами 2 разных цветов (напр., синим и красным); *4* — фотоэлемент; *5* — электронный блок, формирующий выходной сигнал — ф-цию цветовой темп-ры; *6* — электроизмерит. прибор с температурной шкалой; *7* — синхронный коммутатор, позволяющий блоку *5* различать цвет входного импульса; *8* — электродвигатель.

инерционность: от сотых долей до единиц сек. в зависимости от конструкции выходного прибора; показатель визирования — от $^1/_5$ до $^1/_{150}$, что позволяет измерять на расстоянии 1—1,5 *м* от телескопа темп-ру площади ≈ 1 *мм*²; цвета светофильтров — обычно синий и красный; нижний предел измерений всего диапазона ≈1000°—1400°С, верхний — ≈ 2400°—3000°С. Использование ближней инфракрасной части спектра позволяет снизить эти пределы до 500°—600°С и 1300°—1500°С соответственно; при этом цветовая темп-ра, в особенности твердых и жидких металлов, сближается с действит., поскольку они излучают в инфракрасной области приблизительно как серые тела. И. ц. градуируют по черному телу с помощью образцового оптич. пирометра или по образцовым темп-рным лампам, градуированным на цветовую темп-ру.

Лит.: К а т ы с Г. П., Оптические датчики температуры, М.—Л., 1959, с. 59—76; К и р е н к о в И. И., Цветовая пирометрия, в кн.: Гордов А. Н. [и др.], Методы измерения высоких температур, М., 1960, с. 22—30; С в е т Д. Я., К у р т е в Н. Д., Автоматический фотоэлектронный цветовой пирометр ЦЭП-3М, «И и СА», 1962, № 2, с. 105—108; С в е т Д. Я. [и др.], Автоматический фотоэлектронный пирометр спектрального отношения ПИРСО-1, там же, 1961, № 3, с. 14—17; С в е т Д. Я., П о с к а ч е й А. А., Некоторые системы инфракрасной пирометрии спектрального отношения, «И», 1960, № 7, с. 28—29; B u r k D. L., The ratio pyrometer, «Instrum. and Control Systems», 1960, v. 33, № 1, p. 64—67; G r a n d i n M., M a i l l o t G., R o d i e g P., Pyromètre à deux couleurs, «Mesures et contrôle industr.», 1962, v. 27, № 300, p. 633—43; H e c h t G. J., A near infrared two wavelength pyrometer, «Automat. Control», 1962, v. 16, № 3, p. 51—54; M u r r a y T. R., S h a w V. G., Two-color pyrometry in the steel industry, «Instrum. Soc. America J.», 1958, v. 5, № 12, p. 36—41; См. также лит. при ст. *Температур измерение. Д. Л. Оршанский.*

ПИТАТЕЛЬ (supply unit; alimentateur; Speiser, Speiseinrichtung) — устройство для подачи в ходе технологич. процесса заданного

потока материалов или полуфабрикатов. Подаваемые материалы могут быть жидкими или сыпучими. П. для подачи полуфабрикатов применяются при поточном произ-ве в машиностроении, на станках-автоматах и полуавтоматах и автоматич. линиях.

П. разделяются на гравитационные (воронка с заслонкой, мерные сосуды и клапаны) и с принудит. подачей материалов (вибрационные, шнековые, тарельчатые, ленточные, плунжерные, насосы и др.). П. обеих групп могут быть неуправляемыми (с произвольным расходом материала) и управляемыми, в к-рых расход материала регулируется в заданном диапазоне. Последние можно разделить на объемные и весовые в зависимости от того, какими единицами (объемными или весовыми) дозируется материал. В объемных П. поток материала (расход) регулируется по сигналам датчиков количества (объема); в весовых П. (автоматич. весовых дозаторах) — по сигналам весоизмерит. датчиков. Весовые П. обеспечивают автоматич. регулирование и дистанц. управление дозированием материала в одном или нескольких потоках. В системах регулирования они часто используются для обеспечения определ. регулируемого и функцион. соотношения между компонентами смесей. Весовые управляемые П. могут быть дискретного и непрерывного действия, по типу грузоприемного устройства — ленточными (для сыпучих материалов) и бункерными (для сыпучих и жидких материалов).

Конструкции П. зависят: от физико-механич. хар-к сыпучих и жидких материалов; различных типов грузоприемных устройств (ленточные, бункерные) и устройств, измеряющих динамику давления потока взвешиваемого материала, принципов действия чувствит. элемента — весоизмерит. датчика (электрические и пневматические), исполнит. механизмов и систем управления (рис. 1).

Схемы управления весовых П. дискретного действия представляют собой следящие системы, регулирующие расход на одном или двух уровнях производительности («основном потоке» и «досыпке»).

В системах автоматич. контроля и регулирования возмущающим воздействием весового П. являются изменения объемного (или удельного для жидкостей) веса материала $\gamma(t)$ на $\Delta\gamma(t)$ во времени t.

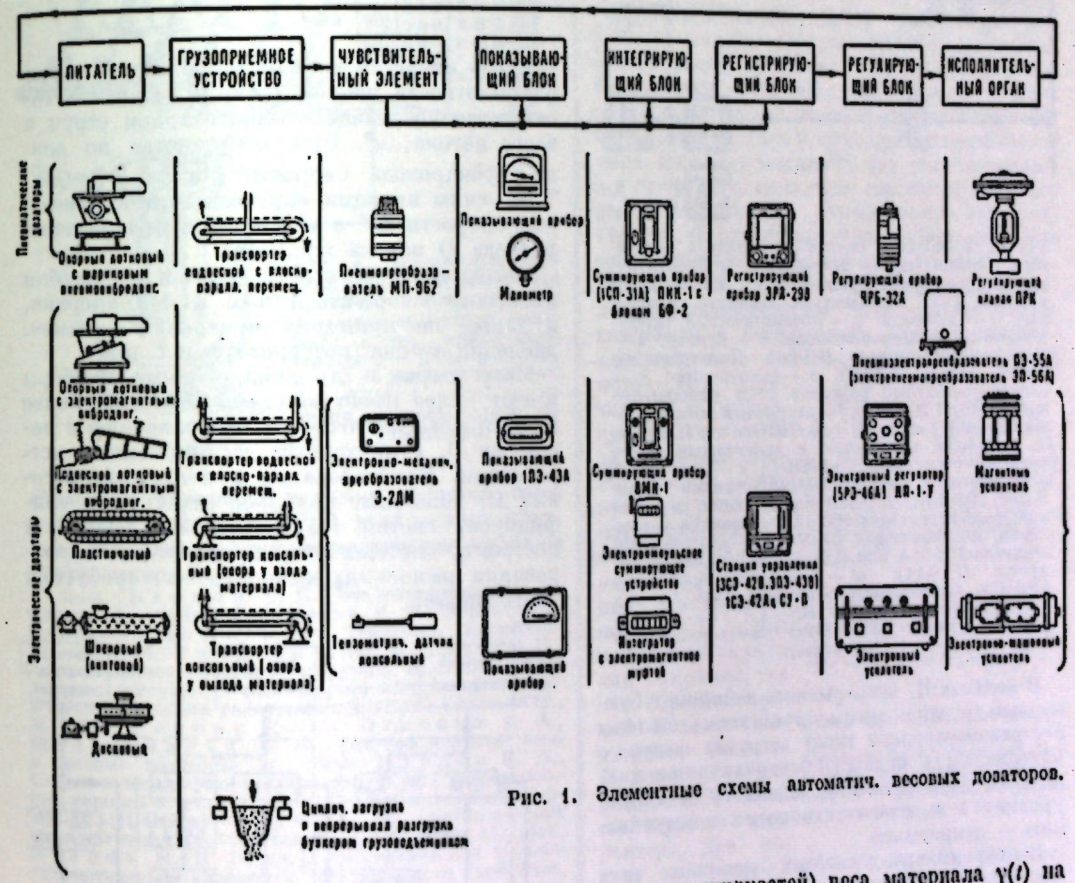


Рис. 1. Элементные схемы автоматич. весовых дозаторов.

Управляющим воздействием в электромагнитных вибрац. П. является изменение тока в обмотках подмагничивания вибродвигателя. В случае шнековых, тарельчатых, пластинчатых и т. п. П. управляющее воздействие осуществляет регулирование электродвигателя пост. тока, к-рый управляется по схеме двигатель — генератор. В качестве весоизмерит. чувствит. элементов П. часто применяются тензометрич. датчики и весовые расходомеры для сыпучих и жидких материалов (турбинные поттерметры, кориолисовые расходомеры, массометры и т. п.).

В весовых П. непрерывного действия с ленточным грузоприемным устройством (ленточных дозаторах) объемный расход $Q_{об}$ П. преобразуется в весовой расход Q на грузоприемном весовом транспортере:

$$Q_{об} = Q = q_l V_l,$$

где q_l — погонная нагрузка, V_l — скорость ленты. Пневматич. или электрич. сигнал, пропорцион. погонной нагрузке q_l, т. е. весу kP материала на грузоприемном устройстве,

служит, следовательно, управляющим для всей схемы регулирования. При этом предполагается, что коэфф. k и скорость ленты V_t транспортера постоянны. Блок-схема дозатора такого типа дана на рис. 2.

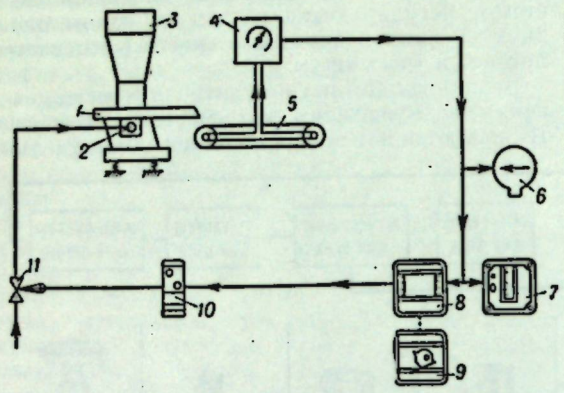


Рис. 2. Блок-схема весового питателя с ленточным грузоподъемным устройством и пневматич. управлением (с приборами АУС); в скобках даны приборы ЭАУС для электрич. варианта управления: *1* — питатель; *2* — пневматический (электромагнитный) вибродвигатель; *3* — бункер; *4* — пневмопреобразователь МП-962 (электронномеханич. датчик Э-2ДМ); *5* — транспортер; *6* — электроконтактный манометр ЭКМ (показывающий прибор I ПЭ-43А); *7* — вторичный показывающий прибор с интегратором ПИК-1 (или ПИК-1ск со счетчиком количества) с включенным в его цепь БФ-1 (интегратор ВМИ-1); *8* — вторичный показывающий прибор ЗРП-29В (станции управления ЗПЭ-43В, ЗСЭ-42В или станция управления, регистрирующая 1СЭ-42А, и станция управления, показывающая СУ-П); *9* — программный задатчик ПД-35А или ПД-36А (программный задатчик ПД-44А); *10* — пневматич. регулятор 4РБ-32А (электронный регулятор 5РЭ-46А или корректирующий прибор КП-1У); *11* — регулирующий клапан ПРК-2-6-ВО (электромашинный усилитель).

В весовых П. непрерывного действия с бункерным грузоприемным устройством (дозаторы бестранспортерного типа) загрузка сыпучего материала или жидкости осуществляется циклически до достижения заданного веса (или уровня), а выдача в технологич. коммуникацию — непрерывно.

В непрерывных дозаторах бункерного типа давление, действующее на весоизмерит. элемент, определяется ур-нием механики переменной массы И. В. Мещерского:

$$F = V\frac{dm}{dt} + m\frac{dv}{dt},$$

где $\frac{dm}{dt}$ — перем. масса (расход) материала, V — относит. скорость движения центра масс, v — скорость истечения материала из бункера (внутри одного цикла). Когда заданный расход материала $\frac{dm}{dt}$ из бункера осуществляется при пост. скорости $V = C$ и справедливо допущение, что скорость v истечения материала из бункера равна скорости V перемещения центра масс: $v = V = C$ и след. $\frac{dv}{dt} = 0$, тогда давление бункера на весы пропорционально расходу материала

$$F = C\frac{dm}{dt}.$$

Электрич. и пневматич. схемы управления П. могут также строиться на принципе измерения величин производной изменения веса материала в бункере или на принципе сравнения сигнала весового датчика грузоприемного бункера с программой задатчика.

Весовые П. для жидкостей строятся на принципе независимости количества движений элементарной струи от изменения физико-механич. св-в материала. Ур-ние суммарного весового расхода Q определяется из рассмотрения сил инерции, действующих на элемент трубопровода со стороны протекающего по нему потока при изменении скорости потока на величину ΔV

$$f = \iint_s \Delta\bar{V}\,(\rho u\,ds),$$

где u — скорость элементарной струи, *м/сек*; ρ — плотность жидкости, *кг/м*³; ds и s — соответственно площадь элементарной струи и всего потока, *м*². При постоянстве по длине трубопровода скорости потока $f = Q\Delta\bar{V}$. Т. о., силы инерции определяются по изменению скорости ΔV в зависимости от изменения расхода Q потока жидкости.

Весовые жидкостные П. делятся по способам измерения скорости потока и сил инерции, а также по принципу измерения динамич. давления потока (поттерметры и т. п.).

Массометры и др. аналогичные приборы имеют более простую схему, обладают более низким классом точности по сравнению с весовыми П. с ленточным грузоприемным устройством. Использование в ленточных весовых П. дополнит. приборов агрегатных унифициров. систем АУС и ЭАУС позволяет построить системы регулирования для дозирования нескольких компонентов в требуемом соотношении.

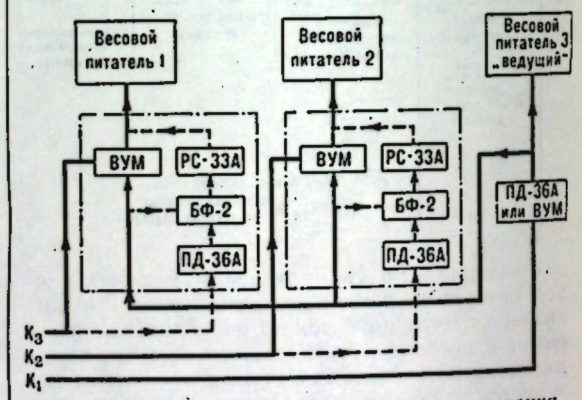


Рис. 3. Схема многокомпонентного дозирования с регулированием соотношения расхода питателей; пунктирными линиями дана схема соотношения на пневматич. блоках АУС; сплошными — на электрич. блоках ЭАУС; ВУМ — множительное устройство; РС — реле соотношения; БФ — функц. блок; ПД — программный задатчик; K_1, K_2, K_3 — корректирующие сигналы.

Сигнал от программного задатчика, вычислит. машины, датчика темп-ры, давления или др. подобного прибора, определяющего значение производительности всех компонентов, подается электрич. суммирующим устройством или реле соотношения на дозаторы (число реле равно числу дозаторов). Суммирующие устройства или реле выполняют ф-цию умножения на пост. коэфф., к-рый можно регулировать в пределах от 0,2 до 2, что обеспечивает соответствие расхода заданию.

Система регулирования каждого весового П. в схеме управления функцион. дозирования нескольких компонентов с коррекцией соотношения строится по схеме рис. 3. Весовой П. основного компонента принимается за «ведущий».

Для комплексной автоматизации технологич. процессов аналогичные схемы могут быть построены для 3-, 4-, 5- и 6-компонентного дозирования с управлением от ЦВМ, осуществляющих коррекцию соотношения по результатам

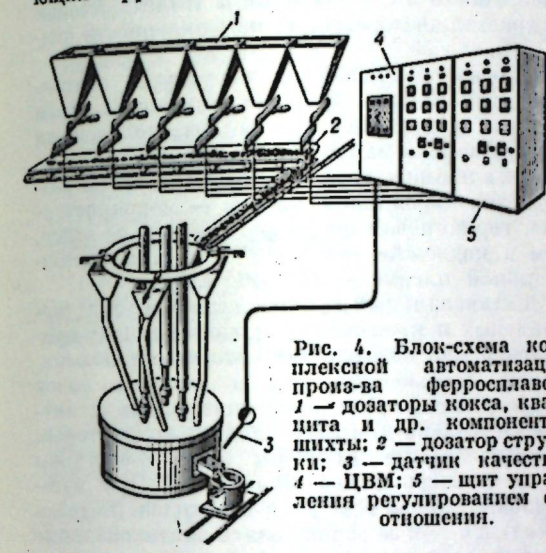


Рис. 4. Блок-схема комплексной автоматизации произ-ва ферросплавов: *1* — дозаторы кокса, кварцита и др. компонентов шихты; *2* — дозатор стружки; *3* — датчик качества; *4* — ЦВМ; *5* — щит управления регулированием соотношения.

обработки экспресс-анализов качества готовой продукции. На рис. 4 такая схема показана для комплексной автоматизации произ-ва ферросплавов.

Лит.: Карпин Е. Б., Весоизмерительные автоматы, М., 1958; Дудников Е. Г., Основы автоматического регулирования тепловых процессов, М.—Л., 1956; Ушакова В. И., Морозов А. П., Автоматизация дозаторов сыпучих веществ непрерывного действия, в кн.: Сборник аннотаций научно-исследовательских работ, выполненных в 1957—58 гг., М., 1959; Карпин Е. Б., Огиевич В. А., Щедровицкий С. С., Автоматические весы и весовые дозаторы, М., 1959; Карпин Е. Б., Пневматический весовой дозатор, в кн.: Испытательные машины и весы, М., 1959 (Информационный сборник. 3, ЦНИИКА); Фурер Г. Л., Автоматические весы для зерна и продуктов его переработки, М., 1958; Иванов Н. Н. [и др.], Автоматические весовые пневматические дозаторы непрерывного действия, «П», 1960, № 12; Ордынцев В. М., Шендлер Ю. И., Автоматическое регулирование и автоматические регуляторы технологических процессов, М., 1960; Стефани Е. П., Основы расчета настройки регуляторов теплоэнергетических процессов, М.—Л., 1960; Оппельт В., Основы техники автоматического регулирования, пер. с нем., М.—Л., 1960; Орлов С. П., Авдеев Б. А., Весовое оборудование предприятий, М., 1962; Щедровицкий С. С., Техника измерения массы, М., 1961; Орлов С. П., Дозирующие устройства, 2 изд., М., 1960; Нитусов Ю. Е., Об одной схеме электромагнитного вибратора, «Э-во», 1956, № 5; Спиваковский А. О., Дьячков В. К., Транспортирующие машины, М., 1955; Катыс Г. П., Автоматический контроль нестационарных параметров и параметрических полей, М., 1962; Потепалов Ю. И., Весовые расходомеры, «ПиСА», 1961, № 4.

Е. Б. Карпин.

ПЛАТЕЖ (payment; payement; Zahlung) — характеристика проигрыша или выигрыша в игре, показывающая, сколько получит каждый игрок в конце игры (см. *Игр теория*). Напр., игрок при турнирной игре в шахматы получает 1 очко за выигрыш, $^1/_2$ — за ничью и 0 — за поражение. На множестве исходов партий для каждого игрока вводится платежная ф-ция $F_i(\alpha)$ — величина, к-рую получит игрок i, когда заканчивается партия с исходом α. Если в игре нет случайных ходов, то выбор каждым игроком одной из своих стратегий определяет исход партий, т. е. П. Если же есть случайные ходы, то выбор стратегий определяет игру не однозначно, а в виде распределения вероятностей по всем возможным партиям. Обозначим $p(\alpha)$ вероятность того, что будет реализована партия с исходом α. Тогда в качестве П., связанного со стратегиями $s_1, s_2, \ldots, s_n$ n игроков, берется ср. значение по всем исходам:

$$F_i(s_1, s_2, \ldots, s_n) = \sum_{\alpha} p(\alpha)\,F_i(\alpha).$$

В. П. Козырев.

ПЛАТИНОТРОН [UHF (ultra-high frequency) magnetron type oscillator; oscillateur à très haute fréquence du type magnétron; Platinotron] — электронновакуумный прибор для усиления и генерирования колебаний СВЧ, относящийся к приборам магнетронного типа. В схеме усиления П. наз. «амплитроном», а в схеме автогенератора, стабилизированного высокодобротным резонатором,— «стабилитроном». П. представляет дальнейшее развитие многокамерного *магнетрона*. Отличит. особенностью П. является незамкнутость замедляющей волноведущей линии (концы ее согласованы с регулярными линиями, коаксиальными, либо волноводными); электронный поток П., получаемый с цилиндрического катода, подобный магнетронному, замкнут. На рис. схематически показаны П. и *магнетрон*. Взаимодействие электронного потока в П. может осуществляться как с прямой, так и с обратной волной. В отсутствие входного сигнала П. генерирует неустойчивый сигнал шумового характера, при подаче на вход слабого сигнала положение не изменяется, начиная с нек-рой пороговой мощности П. работает в качестве насыщенного регенеративного усилителя либо захваченного автогенератора. С ростом мощности входного сигнала уровень мощности выходного изменяется мало. Группировка электронов в П. происходит так же, как и во всех магнетронного типа приборах. В центре полосы частот пропускания электронные сгустки, пройдя полную окружность, снова попадают в центр тормозящей полуволны поля. При отклонении частоты входного сигнала от центральной фаза поля, в к-рую они попадают, становится менее благоприятной и для захватывания требуется более высокий уровень входной мощности. Это явление в совокупности с нарушением условия синхронности вследствие дисперс. свойств замедляющей линии (см. *Лампа бегущей волны*) определяет реальную полосу пропускания П.

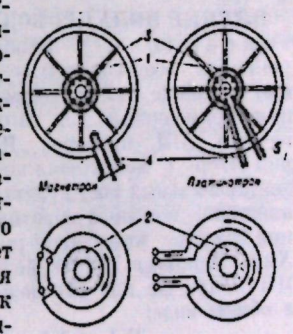


Схема многокамерного магнетрона и платинотрона: *1* — анодный блок (замедляющая линия); *2* — электронный поток; *3* — связки; *4* — вывод энергии; *5* — вход.

Разность сдвига фаз между входным и выходным сигналами П. очень слабо зависит от анодных напряжения и тока, поэтому П. хорошо воспроизводит спектр усиливаемого сигнала даже при относительно нестабильных источниках сигнала: П. в схеме стабилитрона

обеспечивает существенно более высокую стабильность частоты по сравнению с многокамерным магнетроном.

Для нормальной работы П. в режиме усиления требуется отсутствие стоячей волны в замедляющей линии. Поэтому на входе обычно ставится развязывающий ферритный вентиль и принимаются меры к хорошему согласованию нагрузки на выходе. Высокие значения кпд П., относительно широкая полоса частот пропускания, компактность конструкции и малый вес делают этот прибор весьма полезным для использования в выходных каскадах в мощных широкополосных радио-передающих устройствах диапазона СВЧ, входящих в системы с высокой стабильностью частоты, со спец. видами ЧМ, с быстрой перестройкой частоты и т. п. Для примера приводим главные параметры одного из пром. образцов П.: диапазон длин волн — 10 *см*, выходная мощность в импульсе — 3 *Мвт*, средняя — 15 *квт*, длительность импульса — 24 *мксек*, усиление — 10 *дб*, кпд — 70%, относит. полоса частот пропускания—7%; источник питания накала не требуется, степень готовности высокая.

Лит.: Электронные сверхвысокочастотные приборы со скрещенными полями, пер. с англ., т. 1—2, М., 1961.

Е. Д. Науменко.

ПЛЕНКИ ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЕ (эпитаксиальные) (semiconductor films; pellicules semi-conductrices; Halbleiter-Filme) — тонкие слои германия или кремния, применяемые для изготовления высококачеств. ПП приборов. Процесс образования П. п. с монокристаллич. структурой — эпитаксиальный рост кристаллов ПП осуществляется с помощью обратимой хим. реакции при темп-ре ниже темп-ры плавления ПП. Хим. реакция в случае йодистых соединений ПП (напр., Ge или Si) может быть записана в общем виде:

$$2XJ_2 \rightleftarrows XJ_4 + X\downarrow.$$

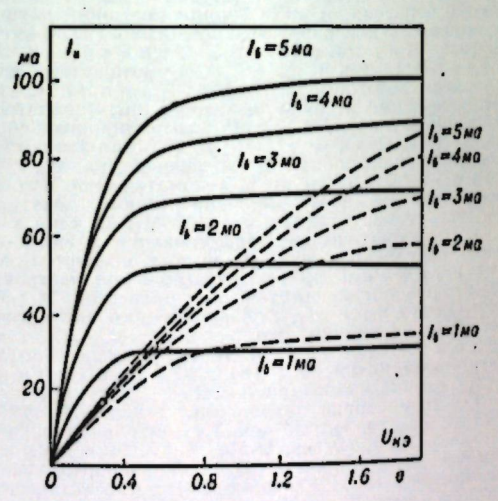
С понижением темп-ры реакция смещается в сторону образования ПП, к-рый осаждается из паровой фазы на монокристаллич. подложку. Т. к. такие П. п. могут быть выращены и легированы при темп-рах, при к-рых практически отсутствует движение атомов, и т. к. содержание легирующих примесей в паровой фазе может быть быстро изменено, то легко создать в такой П. п. желаемое распределение примесей. Процесс эпитаксиального выращивания П. п. осуществляют либо в эвакуированном закрытом сосуде (или наполненном водородом, аргоном или гелием), либо в проточной системе путем создания неск. темп-рных зон. Дважды сублимированный йод находится при температуре 50—75°, источник легирующих примесей — измельченный германий — при темп-ре 450—525° и подложка — субстрат (монокристаллич. германий) при 325—400°. При получении этим методом эпитаксиальных пленок кремния материал-источник находится при темп-ре 1000°, а подложка при 800°.

Кремниевые пленки также могут быть получены восстановлением четыреххлористого кремния водородом или цинком при темп-ре подложки 1270°.

Для создания зеркальной поверхности и тщательной очистки подложки ее предварительно травят в растворах кислот (10 весовых частей HNO_3, 1 часть HF и 6 частей H_2O). Окисная пленка, присутствующая как на материале-источнике, так и на подложке, удаляется в результате прогрева в парах йода или водорода до начала процесса. Получены эпитаксиальные пленки германия толщиной 500—700 *мк* и более при ведении процесса 7—10 дней. Для ПП приборов нужны П. п. толщиной не более 10—20 *мк*, получаемые в течение неск. часов. Скорость роста и рельеф поверхности П. п. зависят в значит. степени от кристаллографической направленности подложки.

Степень совершенства структуры эпитаксиальных пленок *германия* и *кремния* такая же, как у хороших кристаллов, полученных выращиванием из расплава. *Плотность дислокаций* в промежуточной области (граница раздела эпитаксиальная пленка — монокристаллич. германиевая подложка) несколько выше, чем в подложке — 10^3—10^6 *см*^{2}, а в эпитаксиальной пленке — 10^3—10^5 *см*^{2}.

Эпитаксиальный процесс выращивания германиевых и кремниевых пленок находит применение при изготовлении *диодов туннельных*, *диодов параметрических* и нек-рых видов *транзисторов*. Для последних пока применяется только при изготовлении коллекторов. Эпитаксиальные эмиттеры мало эффективны из-за несовершенства технологии. При изготовлении множества *p—n*-переходов (*твердая схема*), в к-ром за основу взяты эпитаксиальные пленки (см. также *Микроминиатюризация*), возникают две проблемы: нахождение условий, при к-рых получались бы качеств. эпитаксиальные переходы, не нуждающиеся в травлении; изготовление соединений для взаимной связи *p—n*-переходов. Целесообразно использование П. п. для создания коллекторной области с низким уд. сопротивлением.



Коллекторные хар-ки кремниевых эпитаксиальных и обычных меза-транзисторов (для обычных — пунктирными линиями): $I_К$ — ток коллектора; $U_{КЭ}$ — напряжение коллектор — эмиттер.

Такой коллектор используется для создания меза и планарных ПП приборов. Преимущество эпитаксиальной П. п. заключается в возможности получения двухслойного коллектора — низкоомная подложка и высокоомная пленка. Транзистор, в к-ром используется такой коллектор, допускает высокие коллекторные токи, малую емкость коллектор — база и, главное, малое напряжение насыщения открытого транзистора. Напр., *транзистор кремниевый* планарный, рассчитанный на токи 200 *ма* и коллекторное напряжение 40 *в* на частоте 100 *Мгц*, имеет усиление равное 3, а емкость коллектор — база составляет 6 *пф*. Эпитаксиальные *транзисторы-меза* по сравнению с обычными характеризуются меньшим напряжением насыщения, меньшим временем переключения и лучшими частотными свойствами (табл. и рис.).

Параметры транзисторов	Эпитаксиальный меза-транзистор	Обычный меза-транзистор
$U_{кэ}$ (10 *ма*, 25°), *в* * . . .	0,25	0,4
$U_{кэ}$ (100 *ма*, 25°), *в*	1,2	2,2
$U_{кэ}$ (100 *ма*, 170°), *в* . . .	1,2	4
$U_{бэ}$ (10 *ма*, 25°), *в*	0,8	0,85
Общее время переключения, *нсек*		
(насыщение 25 *ма*) . . .	30	60
(насыщение 100 *ма*) . .	30	100
Емкость коллектор—база, *пф*	3,5	3,5
Частота, равная 0,65 предельной частоты, *Мгц* .	300	200

* Напряжения, соответствующие насыщению коллекторного тока при разных эмиттерных токах и темп-рах прибора (показаны в скобках). $U_{бэ}$ — напряжение база — эмиттер.

Лит.: «IBM Journal Res. Developm.», 1960, v. 4, № 3; Theuerer H. C., «J. Electrochem. Soc.», 1961, v. 108, № 7; Ruth R., Marinace J. C., Dunlap W., «J. Appl. Phys.», 1960, v. 31, № 6; Hibberd R. G., «Radio Electronic Components», 1961, v. 2, № 6.

С. М. Файнштейн.

ПЛОСКАЯ СТРУКТУРА (планарная) [flat switching circuit structure; structure plate; flache Struktur (planierte Struktur), ebene Struktur] — структура релейного устройства, схема к-рой может быть изображена на плоскости без пересечения линий, представляющих цепи соединения входящих в нее элементов. По характеру соединений элементов релейного устройства к плоской структуре относятся все *параллельно-последовательные структуры* и те *мостиковые структуры*, схемы к-рых можно изобразить на плоскости без пересечения цепей.

В. И. Иванов.

ПЛОТНОМЕР ГИДРОСТАТИЧЕСКИЙ (hydrostatic densimeter; densimètre hydrostatique; hydrostatischer Dichtemesser) — плотномер, основанный на зависимости давления p в жидкости на глубине H от ее плотности ϱ. При неизменной высоте столба жидкости H давление $p = \varrho gH$ является мерой ее плотности ϱ (здесь g — ускорение силы тяжести).

П. г. применяются в пром-сти для контроля и автоматич. регулирования плотности и концентрации жидких сред. Наибольшее распространение получили П. г. мембранные и с продувкой газом (пьезометрические).

В мембранном П. г. типа ПС-1 (рис. 1) две мембраны *4* и *5* расположены в жидкости на расстоянии H и соединены трубчатым штоком *7*. В мембранные коробки через змеевик *10* поступает вода. На каждую мембрану действует разность гидростатич. давления столба контролируемой жидкости и столба воды, в результате чего к штоку оказывается приложенным усилие, направленное сверху вниз $F = S_м H \cdot g (\varrho - \varrho_в)$, где $S_м$ — эффективная площадь мембран, $\varrho_в$ — плотность воды. П. г. этого типа (ПС-1) применяются для автоматич. контроля плотности сиропа в сахарном произ-ве и имеют: диапазон измерения 0—75% сухих веществ, погрешность ±1% сухих веществ. Влияние изменений темп-ры контролируемой жидкости на показания прибора компенсируется тем, что находящаяся в системе вода быстро принимает ее температуру.

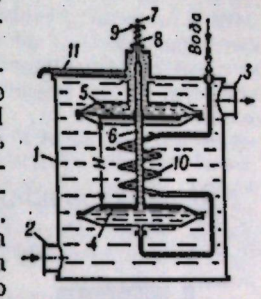


Рис. 1. Схематич. разрез мембранного плотномера ПС-1: *1* — корпус плотномера; *2—3* — отверстия для подачи и отвода жидкости; *4* и *5* — мембраны; *6* и *7* — шток; *8* — пружина; *9* — гайка; *10* — змеевик; *11* — сливная труба.

В пьезометрич. проточном регуляторе плотности типа КМ (рис. 2) плотность жидкости определяется разностью давлений в пьезометрич. трубках *1* и *2*, одна из которых опущена в контролируемую жидкость, а др.— в эталонную жидкость с заданной плотностью. Давление, возникающее в каждой из пьезометрич. трубок, равно гидростатич. давлению жидкости на уровне выходных отверстий трубок, пропорциональному плотности жидкости и глубине погружения трубок. При пост. давлении воздуха и глубине погружения трубок по разности абс. давлений в трубках можно судить о плотности жидкости. Выбором плотности эталонной жидкости можно установить требуемый диапазон измерения прибора. Продувка импульсных линий инертным газом является универсальным и надежным методом защиты измерит. приборов от действия агрессивных сред, а также средством предотвращения закупорки импульсных линий при измерении плотности загрязненных и кристаллизующихся сред. Отсутствие электрич. устройств, соприкасающихся с измеряемой средой, делает прибор пригодным для эксплуатации во взрывоопасных условиях. Пьезометрич. регуляторы плотности (концентрации) выпускаются с проточным датчиком типа КМ (см. выше), предназначенным для установки на трубопроводы, или с погружным датчиком типа ДПМ для погружения в резервуары. Диапазон измерения плотности от 0,04—0,3 *см*$^{-3}$ до 0,08—0,55 *см*$^{-3}$, погрешность ±4%. Проточные датчики выпускаются трех типов: КМ-1 и КМ-4 — для азотной кислоты до 60% (из стали 1Х18Н9Т); КМ-3 —

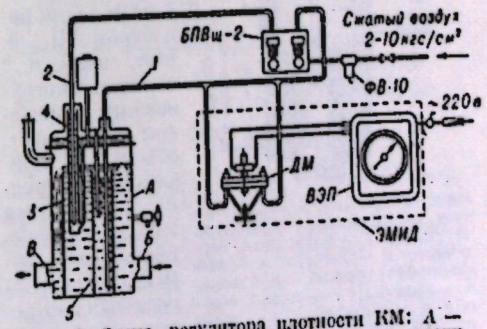


Рис. 2. Схема регулятора плотности КМ: *А* — датчик плотности; *Б* и *В* — штуцеры для подачи и отвода контролируемой жидкости; *1* и *2* — пьезометрич. трубки; *3* — перегородка для слива жидкости; *4* — сосуд с эталонной жидкостью; *5* — сосуд, устраняющий влияние динамич. напора; *БПВш-2* — блок питания воздухом; *ФВ-10* — фильтр воздуха; *ЭМИД* — вторичный прибор; *ДМ* — дифманометр; *ВЭП* — электронный компенсатор.

для серной кислоты (из стали 3, футерованной свинцом). Макс. расход жидкости 50 *м³/час*. Погружные датчики типов ДПМ-6, ДПМ-7 и ДПМ-8 — из стали 1Х18Н9Т. В датчике ДПМ-7 отсутствует температурная компенсация, выносной сосуд для подавления нуля — из стали 20, шкала вторичного прибора градуируется только в единицах плотности, в отличие от остальных, к-рые могут градуироваться и в единицах концентрации.

Лит. см. при ст. *Плотности измерение.*

О. С. Арутюнов.

ПЛОТНОМЕР ПОПЛАВКОВЫЙ (float densimeter; densimètre à flotteur; Schwimm-Dichtemesser) — плотномер, основанный на законе Архимеда. П. п. служат датчиками систем автоматич. контроля и управления производств. процессами. Благодаря относит. простоте конструкции они широко применяются в химич., пищевой и др. отраслях пром-сти. Имеются 2 разновидности П. п.: с плавающим поплавком (П. п. пост. веса) и с полностью погруженным поплавком (П. п. пост. объема). В приборах 1-й группы измеряется глубина погружения поплавка, обратно пропорциональная плотности жидкости. В приборах 2-й группы глубина погружения поплавка остается постоянной и измеряется действующая на него выталкивающая сила, пропорциональная плотности вещества (жидкости или газа).

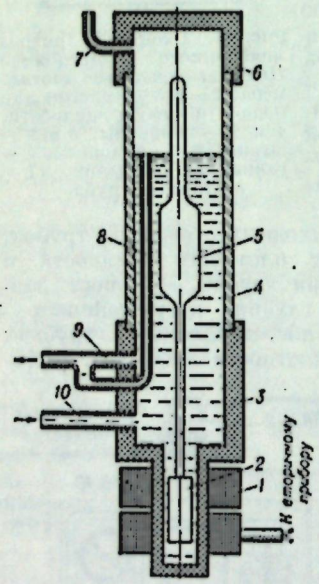


Рис. 1. Плотномер с плавающим поплавком: *1* — индукц. катушка; *2* — магнитный сердечник; *3* — корпус; *4* — стеклянная трубка; *5* — поплавок; *6* — крышка; *7* — канал сообщения с атмосферой; *8* — переливная трубка; *9* — отводящая трубка; *10*—подводящая трубка.

На рис. 1 изображен плотномер с плавающим поплавком, внутренней переливной трубкой и индукционной системой передачи показаний. Аналогичные плотномеры типа ПС-1 служат, напр., для измерения плотности сахарных сиропов от 1 до 75% содержания

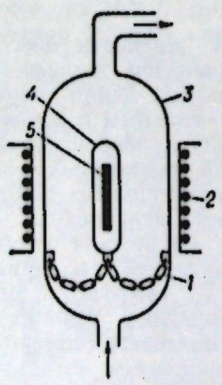


Рис. 2. Цепочковый плотномер: *1* — цепочки; *2* — индукц. катушка; *3*—измерит. камера; *4* — поплавок; *5* — сердечник.

сухих веществ с погрешностью показаний ±1%. Выпускаются П. п. с фотоэлектрич. системой индикации положения поплавка и с регистрацией положения радиоактивной метки, укрепленной на стержне поплавка (П. п. для определения крепости спирта). Промежуточной конструкцией между П. п. с плавающим и полностью погруженным поплавком являются цепочковые плотномеры (рис. 2), в к-рых действующая на поплавок выталкивающая сила уравновешивается как весом

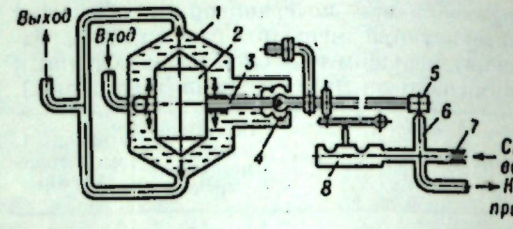


Рис. 3. Схема плотномера с погруженным поплавком: *1* — измерительная камера; *2* — поплавок; *3* — коромысло; *4* — уплотнительный сильфон; *5* — заслонка; *6* — сопло; *7* — дроссель; *8* — мембранная коробка обратной связи.

поплавка, так и весом части калиброванных цепочек. Такие плотномеры имеют высокую точность и применяются для измерения плотности различных жидкостей, в т. ч. агрессивных.

Пневматич. П. п. с полностью погруженным поплавком (рис. 3) работает по принципу силовой компенсации с диапазоном измерения от 0—0,5 *г/см³* до 0—0,05 *г/см³*. Преимущество П. п. с погруженным поплавком в том, что: а) влияние капиллярных св-в жидкости исключено или сведено к минимуму, б) можно получить высокую чувствительность, в) сравнительно легко измерять плотность жидкости в потоке. Недостаток — сравнительно узкий диапазон измерений.

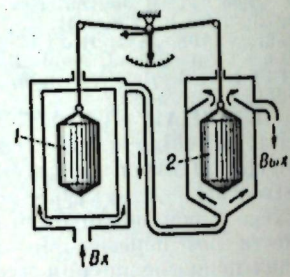


Рис. 4. Схема двухпоплавкового плотномера: *1* — сравнит. поплавок; *2* — измерит. поплавок.

В двухпоплавковом плотномере (рис. 4) плотность исследуемой жидкости непрерывно сравнивается с эталонной. Для выравнивания темп-р сосуд с эталонной жидкостью непрерывно обтекается исследуемой жидкостью. П. п. для измерения плотности га-

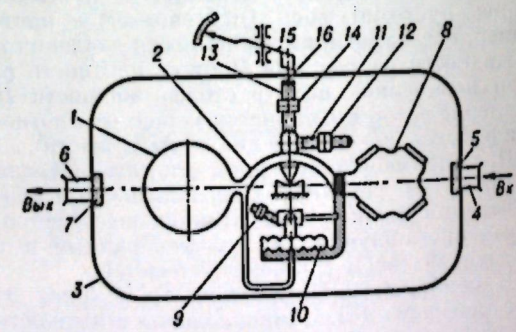


Рис. 5. Схема газового плотномера: *1* — тонкостенный полый стеклянный шар; *2* — коромысло; *3* — измерит. камера; *4*, *6* — входной и выходной штуцеры; *5*, *7* — пористый стеклянный фильтр; *8* — полый, открытый стеклянный шар (противовес); *9*, *10* — груз и мембранная коробка, компенсирующие изменение давления и темп-ры газа; *11*, *12* — устройство для балансировки коромысла; *13*, *14* — устройство регулировки чувствительности; *15* — стрелка прибора; *16* — постоянный магнит.

зов типа ПИ (рис. 5) имеет пределы измерения 0,2—2,5 *кг/нм³*, основную погрешность ±3%. В нем в камере *3*, через к-рую проходит исследуемый газ, непрерывно взвешивается стеклянный шар *1*, заполненный азотом. Мерой плотности газа является угол наклона коромысла *2*.

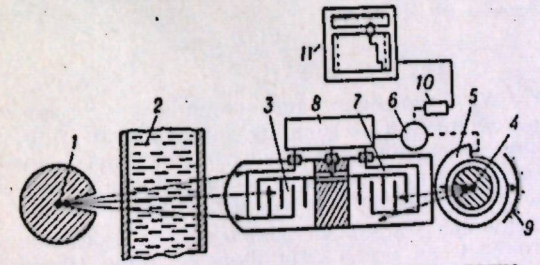
Лит. см. при ст. *Плотности измерение.*

О. С. Арутюнов.

ПЛОТНОМЕР РАДИОИЗОТОПНЫЙ (radioisotope densimeter; densimètre à radioisotopes; radioisotopischer Dichtemesser) — плотномер, основанный на просвечивании контролируемой среды излучением радиоактивных изотопов. Служит для измерения плотности как твердых (сыпучих) и жидких, так иногда и газообразных сред. В первом случае применяются β- и γ-излучения, во втором —β- и α-излучения. Радиоактивные изотопы в П. р. используются в виде закрытых ампулированных источников Cs^{137} (цезий 137), Sr^{90} (стронций 90), Co^{60} (кобальт 60), Tl^{204} (таллий 204), Po^{210} (полоний 210), Pu^{239} (плутоний 239) и др. Активность источников α- и β-излучения не превышает 1 *кюри*, источников γ-излучения — 10 *г-экв. радия*. Приемниками излучения являются ионизационные камеры, газоразрядные и сцинтилляционные счетчики.

В пром-сти широко распространены П. р. для непрерывного бесконтактного измерения плотности жидкости, протекающей по трубопроводу. В датчике такого прибора блоки источника и приемника излучения располагаются на одной оси по обе стороны от трубопровода. Интенсивность γ-излучения, прошедшего через объект контроля (трубопровод) и зарегистрированного приемником, является экспоненциальной ф-цией плотности жидкости и коэфф. поглощения γ-излучения в ней.

В приборах средней точности применяются прямая (одноканальная) и дифференциальная измерит. схемы, а в качестве приемника излучения — газоразрядные счетчики. Шкала таких приборов принципиально нелинейна (экспоненциальна). В приборах высокой точности используется автокомпенсац. измерит. схема, а в качестве приемника — дифференц. ионизац. камера высокой эффективности (см. рис.). Шкала прибора линейна; он позволяет



Принципиальная схема автокомпенсац. радиоизотопного плотномера жидкости ПРЖ-5: *1* — основной источник γ-излучения; *2* — контролируемый объект; *3* — основное отделение дифференциальной ионизац. камеры; *4* — компенсац. источник γ-излучения; *5* — металлич. клин; *6* — реверсивный двигатель; *7* — компенсац. отделение ионизац. камеры; *8* — электронный усилитель разностного сигнала; *9* — линейная шкала; *10* — индукц. катушка — задатчик телеметрич. прибора *11*.

измерять плотность любых жидкостей, полностью заполняющих трубопроводы с внутр. диаметром до 300 *мм* и более. Величина диапазона измерения может быть выбрана от 0,05 до 1,00 *г/см³* на нужном участке шкалы плотности; точность ±2% от диапазона (что соответствует ± 0,001 *г/см³* при диапазоне 0,05 *г/см³*). Мощность дозы γ-излучения на поверхности прибора не превышает 10 *мр/час* и на расстоянии 1 *м* от прибора — 0,3 *мр/час*. Блоки источника излучения снабжены устройством, автоматически перемещающим источник в нерабочее положение при выключении прибора.

П. р. позволяет бесконтактно и автоматически контролировать и регулировать плотность жидкости, напр. пульпы на выходе сгустителей, сливе классификаторов и шаровых мельниц при обогащении минер. сырья, сгущенного молока, сахарного сиропа и др.

К. С. Фурман.

ПЛОТНОСТИ ИЗМЕРЕНИЕ автоматическое (density measurement; mesure de densité; Dichtemessung). П. и. используется при проведении исследований и в пром-сти для определения состава бинарных смесей, для определения качества продукта, для перехода от объемных единиц измерения количества или расхода среды к массовым. Плотность

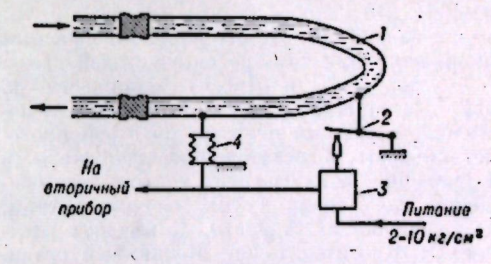


Рис. 1.

ρ — отношение массы тела к его объему, выражается в *кг/м³*, *г/см³*, *г/л* и т. д., она связана с удельным весом (весом единицы объема) γ (*н/м³*, *кгс/м³*, *гс/см³*) соотношением $\gamma = g\rho$, где g — ускорение силы тяжести. Для хар-ки сыпучих, кусковых и пористых материалов пользуются насыпным или объемным весом (плотностью), учитывающими наличие пустот в объеме.

Методы П. и. могут быть разделены на 3 группы: 1) Весовые методы. К ним относятся поплавковые или ареометрические (см. *Плотномер поплавковый*), гидростатические (см. *Плотномер гидростатический*) и собственно весовые, основанные на непосредственном взвешивании определенного объема среды. 2) Динамические, основанные на измерении соотношений между динамич. давлением и скоростью движущейся среды. 3) Косвенные, основанные на использовании физич. явлений, зависящих от плотности среды. К ним, в частности, относятся методы, основанные на измерении степени поглощения радиоактивного излучения (см. *Плотномер радиоизотопный*), и методы, основанные на измерении скорости распространения звука в среде. Основное применение весовых плотномеров — измерение плотности суспензий, вязких жидкостей и жидкостей, содержащих твердые включения. Возможно измерение и плотности газов. В жидкостных весовых плотномерах непрерывно компенсационным методом измеряется вес V-образной трубки, через к-рую протекает жидкость (рис. 1). Вес трубки *1* передается на сопло-заслонку *2* и через усилитель *3*, в виде унифицированного пневматич. сигнала — на

вторичный прибор; обратная связь осуществляется через сильфон *4*. Советской пром-стью выпускаются 2 типа весовых плотномеров ДУВ-1 и ПЖК-1. Технич. данные ДУВ-1: диапазон измерения плотности 0,5—1,2 *г/см*³; макс. рабочая темп-ра + 150° С; макс. расстояние от места забора до датчика 10 *м*; макс. скорость жидкости через датчик 20 *дм*³/*мин*; основная погрешность датчика в комплекте со вторичным прибором типа МС (по плотности) 0,002 *г/см*³; вес датчика ок. 50 *кг*; на месте установки прибора не должно быть никаких вибраций. Технич. данные ПЖК-1: предназначен для работы с незагазованными жидкостями и растворами, не вызывающими коррозию стали 1Х18Н9Т; класс точности 0,5 и 1; пределы измерения плотности 0,5—2,5 *г/см*³ при диапазоне измерения от 0,05 до 2,0 *г/см*³; плотномер настраивается на любой из указанных пределов за счет кинематики без замены чувствит. элемента прибора; результаты измерения передаются посредством пневмореле на расстояние до 300 *м* при диаметре трубопровода пневмотрассы 6 *мм*; выходной сигнал 0,2—1,0 *кг/см*²; габаритные размеры 210×225×470 *мм*; вес до 19 *кг*; предназначен для работы во взрывоопасных помещениях при темп-ре окружающей среды от +5 до +50°С и относит. влажности до 80%. Достоинства этих плотномеров — неизменность сечения полости, по к-рой протекает жидкость, и достаточно большая скорость ее движения, исключающая возможность осаждения на стенках трубы твердых частиц, содержащихся в жидкости. К весовым плотномерам относится также пружинный гравитац. плотномер ПЛМ-1 с чувствит. элементом в виде сосуда, подвешенного снизу и сверху на винтовых трубчатых пружинах, по к-рым жидкость подводится к сосуду и отводится от него. Плотномер предназначен для измерения содержания масла в мисцелле (раствор масла в бензине) в диапазоне 0—25%. На рис. 2 приведена принципиальная схема газового весового плотномера с плавающим дном фирмы Альфа — Люкс.

К динамич. методам П. и. относятся эффузиометрич. и аэродинамич. методы. Эффузиометры основаны на использовании закона истечения (эффузии), согласно которому квадраты скоростей истечения газов из

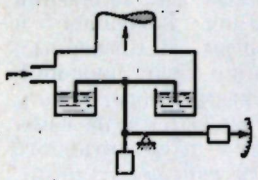


Рис. 2.

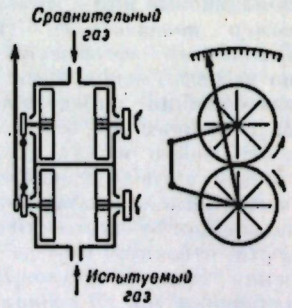


Рис. 3.

узких отверстий в тонкой стенке при равных темп-рах и давлении обратно пропорциональны плотности газов. Аэродинамич. плотномер типа Ранарекс (рис. 3) основан на сравнении вращающих моментов аэродинамич. полей, образованных в двух камерах, заполненных испытуемым и сравнит. газами при вращении крыльчатых роторов. Такие приборы предназначены для измерения плотности вязких и сильно загрязненных пром. газов. Преимущество аэродинамич. плотномеров — возможность получения значит. мощности на валу измерит. системы.

Лит.: Скорбилин С. Ф., Автоматические плотномеры, М., 1955; Кивилис С. Ш., Техника измерения плотности жидкостей и твердых тел, М., 1959; Кулаков М. В., Щепкин С. И., Автоматические контрольно-измерительные приборы для химических производств, М., 1961; Olive T. R. and Danatos S., Chemical Engineering's Guide to process instrument elements, «Chem. Engng.», 1957, v. 64, № 6.

О. С. Арутюнов.

ПЛОТНОСТЬ ДИСЛОКАЦИЙ (dislocation density; densité de dislocation; Verschiebungsdichte) — количество дислокаций (см. *Дислокация* в полупроводниках), пересекающих единичную поверхность кристалла. В *монокристаллах* Ge или Si (см. *Выращивание монокристалла по Чохральскому*) П. д. составляет 10^3—10^4 *см*$^{-2}$ и может быть увеличена до 10^7—10^8 *см*$^{-2}$ путем пластич. деформации (изгиб, сжатие, кручение) при повыш. темп-ре. Однако при определ. режимах роста *кристалла* П. д. может быть уменьшена до 10—10^2 *см*$^{-2}$, и даже удается получать бездислокац. кристаллы. П. д. в кристалле может быть определена методами: 1) химическим — по ямкам травления, образующимся на поверхности кристаллов; 2) рентгеновским — по уширению линий; 3) осаждения примеси на дислокациях (декорированием) и просвечивания в ИК свете; 4) наблюдения упругих полей вокруг дислокаций в поляризованном свете.

Хим. метод наиболее прост и распространен; он позволяет определять П. д. начиная с неск. дислокаций на 1 *см*^{2} до плотностей 10^7 *см*$^{-2}$. Однако при этом методе выявляются дислокации, выходящие на данную кристаллографич. плоскость под углом $\geqslant 30°$ к поверхности. Дислокации, лежащие под меньшим углом, остаются невыявленными. Рентгеновский метод позволяет определять полную П. д. в пределах от 1 до 10^{10} *см*$^{-2}$.

Рассеяние носителей на искажениях решетки вблизи дислокаций при П. д. 10^3—10^4 *см*$^{-2}$ весьма мало́, и только при П. д. 10^8 *см*$^{-2}$ и темп-ре жидкого водорода рассеяние на дислокациях сравнимо с рассеянием на колебаниях решетки. Из всех известных рекомбинац. центров дислокации являются наиболее эффективными. Зависимость *времени жизни носителей заряда* от П. д.

$$\tau = \frac{1}{\sigma_R N_d},$$

где N_d — плотность дислокации, σ_R — коэфф. рекомбинации на единицу длины дислокаций, определяющий эффективность последних как рекомбинац. центров и зависящий от плотности примесной атмосферы на дислокациях. Величина σ_R может изменяться в пределах 10^{-2}—1 *см*·*сек*$^{-1}$. Наличие значит. П. д. в кристалле влияет на *диффузию примеси* и растворение ПП в металлах. Это необходимо учитывать при создании *p—n*-структур методом диффузии и вплавления.

Лит.: Трахтенберг А. Д., Файнштейн С. М., «Физ. твердого тела», 1959, т. 1, вып. 3, с. 373; Бардсли У., «УФН», 1961, т. 73, вып. 1, с. 121.

Л. И. Колесник.

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ БЛОК ЗАПАЗДЫВАНИЯ (pneumatic delay unit; unité pneumatique de retard; pneumatischer Laufzeit-Block) — устройство, выходной пневматич. сигнал к-рого воспроизводит входной пневматич. сигнал через определ. промежуток времени, наз. временем запаздывания. П. б. з.

в основном применяются для моделирования систем с запаздыванием и систем, описываемых ур-ниями в частных производных и обыкновенными ур-ниями высоких порядков при аппроксимации их ур-ниями 1-го или 2-го порядка с чистым запаздыванием. П.б.з.

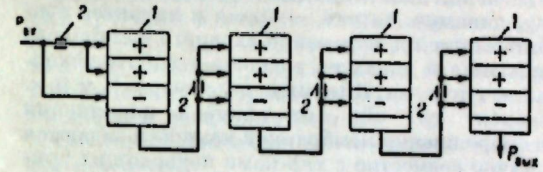


Рис. 1. Схема пневматич. блока запаздывания на пассивных элементах: *1*—сумматор; *2*—дроссель.

может служить также кратковременным ЗУ. Зависимость между входным и выходным сигналами П.б.з. имеет вид $P_{вых}(t) = P_{вх}(t-\tau)$, где τ — время запаздывания.

Блоки запаздывания [1] разделяются на: 1) точно воспроизводящие амплитудную частотную хар-ку идеального блока, приближенно — фазо-частотную; 2) приближенно воспроизводящие амплитудную частотную характеристику, точно — фазо-частотную. П.б.з. 1-й группы обычно строятся из пассивных и активных звеньев.

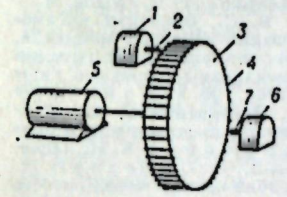


Рис. 2. Схема пневмомеханич. блока запаздывания: *1* — входное устройство; *2*, *7* — штоки; *3* — колесо памяти; *4* — пальцы; *5* — электродвигатель; *6* — выходное устройство.

П.б.з. (рис. 1) представляет собой цепочку из *n* одинаковых пассивных звеньев.

Каждый элемент цепочки является сумматором *1*, в плюсовые камеры которого входной сигнал поступает через линейный дроссель *2*, а в минусовую камеру — непосредственно [2]. В ряде случаев предпочтительны схемы с активными элементами [1].

В П.б.з. 2-й группы происходит запоминание текущих значений входного сигнала, к-рые воспроизводятся или считываются через время τ. В пневмомеханич. блоке [3] входной сигнал $P_{вх}$ (рис. 2) подается к пневмомеханич. преобразователю *1*, в к-ром давление воздуха преобразуется в перемещение штока *2*. При вращении колеса памяти *3* шток *2* перемещает пальцы *4*, установленные по его окружности. Шток *7* скользит по пальцам, его перемещение преобразуется механопневматич. преобразователем *6* в давление воздуха. Время запаздывания τ от 5 сек. до 10 мин.; оно определяется временем поворота колеса *3* на угол α между входным и выходным устройствами и может устанавливаться изменением угла α или скорости вращения колеса.

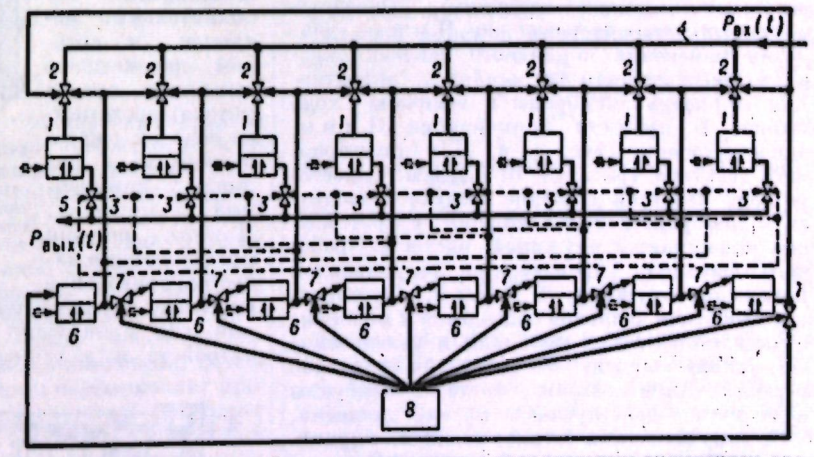


Рис. 3. Схема пневматич. блока запаздывания с параллельным включением элементов памяти: *1* — пневмоповторитель; *2* — клапан входа; *3* — клапан выхода; *4* — коллектор входа; *5* — коллектор выхода; *6* — пневмоповторитель (следящая камера); *7* — клапан; *8* — генератор колебаний.

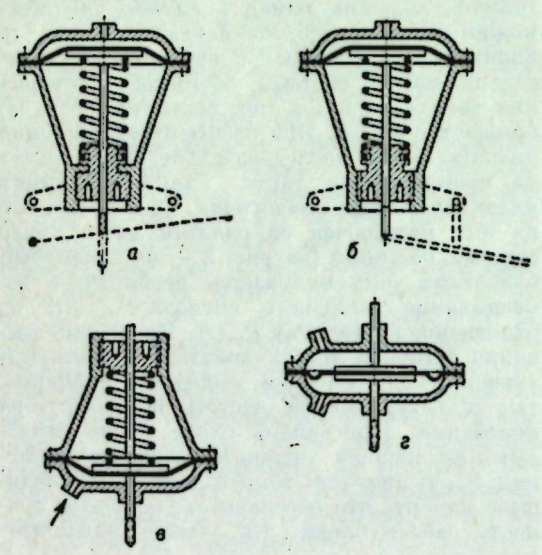
Возможно построение П.б.з. на основе запоминания давления в глухой камере. В варианте блока с последовательным включением элементов запоминания погрешность весьма велика вследствие последоват. прохождения давления $P_{вх}(t)$ через большое количество следящих камер и клапанов. В П.б.з. с параллельно включенными повторителями *1* (рис.3) эти элементы соединены через клапаны входа *2* и выхода *3* с соответствующими коллекторами *4* и *5*. Клапаны получают команду от системы обегания. Единичный сигнал, включаемый при пуске схемы на вход первой следящей камеры, последовательно проходит через всю цепочку, переходя из камеры в камеру с частотой, задаваемой генератором колебаний. Вместо следящих камер в системе обегания можно использовать пневмореле [4]. Каждый клапан входа соединен с выходами двух соседних камер системы обегания и открыт при сигнале 1 в 1-й (по движению сигнала) камере и 0 во 2-й. При работе схемы обегания клапаны входа последовательно открываются на время одного такта. Схема включения клапанов выхода аналогична, однако каждый из них подключен со сдвигом на *n* камер системы обегания (на рис. 3 — на 2 камеры), благодаря чему получается необходимое запаздывание выходного сигнала $P_{вых}(t)$ по отношению к входному $P_{вх}(t)$. Время запаздывания τ можно устанавливать как соответствующим подключением выходных клапанов, так и регулировкой частоты ω генератора колебаний. При данной схеме блока запаздывания каждая ордината входного давления $P_{вх}(t)$ проходит только через одну следящую камеру, что обеспечивает бо́льшую точность работы блока. См. также *Запаздывания блок*.

Дальнейшее уменьшение погрешности блока можно получить при кусочно-линейной аппроксимации с помощью интегрирующей системы.

Лит.: 1) Коган В. Я., Электронные моделирующие устройства и их применение для исследования систем автоматического регулирования, М., 1959; 2) Ланин Н. Д., Малогабаритная пневматическая вычислительная машина непрерывного действия и блок запаздывания, в кн.: Вопросы пневмо- и гидроавтоматики, М., 1960; 3) Cowley P. E. and Bremer A., Dead time simulated by transport delay, «Control Engng.», 1957, v. 4, № 4; 4) Берендс

Т. К., Таль А. А., Пневматические релейные схемы, в кн.: Тр. I Международного Конгресса Международной федерации по автоматическому управлению, [т.] 4, М., 1961. *Н. Д. Лапин.*

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ МЕМБРАННЫЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ (pneumatic diaphragm servomotor; servo-moteur pneumatique à membrane; pneumatischer Membran-Ausführungsmechanismus, pneumatischer Membran-Arbeitsmechanismus) — исполнительный механизм, в котором перемещение выходного органа (штока) достигается изменением давления воздуха на мембрану. Благодаря простоте устройства, быстродействию и надежности П.м.и.м. получили широкое распространение в пром-сти, гл. обр. для перемещения регулирующих органов в системах



автоматич. регулирования и дистанц. управления запорными устройствами, а также для приведения в действие реле различных защитных устройств (реле срабатывает, когда давление, действующее на мембрану П.м.и.м., достигает заданной величины). Основные параметры, характеризующие П.м.и.м.: диапазон изменения командного давления воздуха, действующего на *мембрану*, эффективная площадь мембраны и величина хода штока. В пром-сти применяются П.м.и.м. одностороннего (рис. *а*, *б*, *в*) и двустороннего действия (рис. *г*). В П.м.и.м. одностороннего действия давление воздуха подводится к мембране с одной стороны, с другой — она поджимается пружиной; настройка рабочего давления производится регулировкой натяжения пружины. В П.м.и.м. двустороннего действия давление подводится к мембране с двух сторон. Ход мембраны и развиваемое ею усилие зависят от геометрич. размеров и конструкции П.м.и.м., от хар-к мембраны и величины действующего на нее давления.

По типу выходных органов различают прямоходные (рис. *в*, *г*), рычажные (рис. *а*,*б*) П.м.и.м. (наиболее употребительные) и кривошипные (применяемые редко); по направлению действия — механизмы прямого действия (в к-рых при повышении давления командного воздуха конец штока, соединяемый с регулирующим органом, удаляется от плоскости заделки мембраны) и механизмы обратного действия.

Упругим элементом П.м.и.м. обычно служит эластичная резинотканевая мембрана. При определении развиваемого мембраной усилия необходимо учитывать ее жесткость, увеличение к-рой уменьшает чувствительность П.м.и.м. Качество работы П.м.и.м. зависит от их статич. и динамич. хар-к. Статич. хар-ка дает зависимость хода штока П.м.и.м. от изменения давления, действующего на мембрану, динамич. хар-ки — время и характер срабатывания при изменении входного командного давления и динамич. точность отработки входного сигнала. Динамич. параметры П.м.и.м. зависят гл. обр. от времени наполнения и опорожнения мембранной камеры и задаются обычно совместно с хар-ками подводящих трубопроводов (см. *Длинная линия пневматическая*). В П.м.и.м., предназнач. для системы АУС, изменение давления в рабочей полости должно происходить в пределах от 0,2 до 1,2 *кг/см*²; при установке позиционера это давление может быть повышено до 4 *кг/см*².

Лит.: Герц Е. В. и Крейнин Г. В., Теория и расчет силовых пневматических устройств, М., 1960; Кожевников С. Н., Аппаратура и механизмы гидро- пневмо- и электроавтоматики металлургических машин, М.—К., 1961; Холзунов А. Г., Основы расчета пневматических приводов, М.—Л., 1959; Прусенко В. С., Элементы пневмоавтоматики для регулирования тепловых процессов, М.—Л., 1961; Кореневский В. С., Писман Л. Н., Исполнительные механизмы (основные типы и характеристики), «П», 1961, № 8; Вайнберг И. Б., Писман Л. Н., Пневматические исполнительные механизмы, «Электропромышленность и приборостроение», 1960, № 17; Бежанов Б. Н., Пневматические механизмы, М.—Л., 1957; Плехов И. М. и Козулин Н. А., Приближенный метод расчета пневматических механизмов одностороннего действия, «ИВУЗ. П», 1961, т. 4, № 2; Темный В. П., Экспериментальное определение жесткости резинотканевых мембран, «АиТ», 1956, т. 17, № 11; Мурин Г. А., Максимов В. В., Мембранные исполнительные клапаны, «Теплоэнерг.», 1961, № 10. *В. П. Темный.*

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ПОРШНЕВОЙ ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ МЕХАНИЗМ (pneumatic piston servomotor; servo-moteur pneumatique à piston; pneumatischer Kolben - Ausführungsmechanismus) — исполнительный механизм, в котором перемещение выходного органа (штока) достигается подачей сжатого воздуха в цилиндр, снабженный поршнем. П.п.и.м. широко применяются в качестве приводов в системах пневмоавтоматики, в станкостроении для приведения в действие зажимных устройств и механизмов подачи для тор-

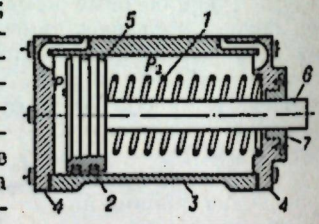


Рис. 1. Поршневой пневматич. механизм одностороннего действия: *1* — пружина; *2* — металлическое разрезное уплотняющее кольцо; *3* — цилиндр; *4* — крышки; *5* — поршень; *6* — шток.

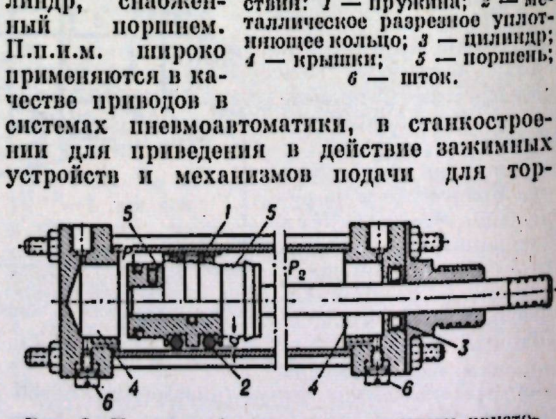


Рис. 2. Поршневой пневматич. механизм двустороннего действия: *1* — манжета; *2* — резиновое кольцо; *3* — П-образная манжета; *4* — цилиндры концевых демпферов; *5* — поршни концевых демпферов; *6* — пневматич. регулируемые сопротивления, дросселирующие переток воздуха из цилиндров *4* в основной цилиндр.

можения и др. По конструкции П.п.и.м. делятся на механизмы одностороннего и двустороннего действия. Недостатки П.п.и.м. одностороннего действия (рис. 1) по сравнению с П.п.и.м. двустороннего действия (рис. 2): ограниченность хода поршня величиной сжатия пружины и возможность попадания пыли в нерабочую полость цилиндра. Для уплотнения между цилиндром и поршнем обычно служат металлич. разрезные кольца, эластичные манжеты и резиновые кольца.

См. также *Пневмопривод поршневой автоматизированный.*

Лит.: Бежанов Б. Н., Пневматические механизмы, М.—Л., 1957, с. 97—113; Горская Н. С., Уравнение движения пневмопривода, в сб.: Труды первой научно-технической конференции молодых специалистов института автоматики и телемеханики АН СССР, М., 1953; Герц Е. В., Крейнин Г. В., Теория и расчет силовых пневматических устройств, М., 1960; Дмитриев В. Н., Чернышов В. И., Графоаналитический метод расчета установившейся скорости пневмопривода, «АиТ», 1959, т. 20, № 10. *В. Н. Дмитриев.*

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ СУММАТОР (pneumatic adder; totalisateur pneumatique; pneumatischer Summator) — устройство, алгебраически суммирующее сигналы, задаваемые в виде давления сжатого воздуха, и реализующее на своем выходе результат операции в виде давления. П. с. разделяются на пневмомеханич. сумматоры давлений и чисто пневматич. сумматоры (см. *Камера пневматическая*).

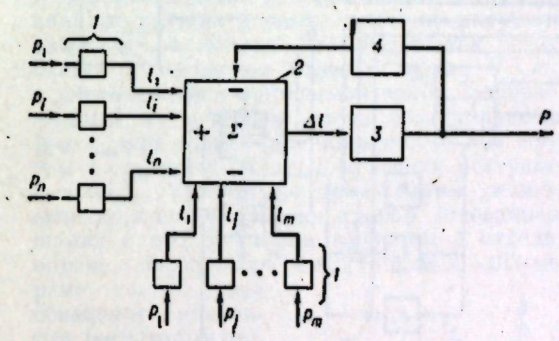


Рис. 1.

Пневмомеханич. сумматоры давлений строятся по принципу компенсации перемещений, компенсации сил или моментов сил. В структурную схему П. с., действие к-рого основано на принципе компенсации перемещений (рис. 1), входят: датчики перемещений *1* (чаще всего это сильфоны, либо трубки Бурдона), преобразующие давления входных сигналов p_i, p_j,... в пропорц. перемещения l_i, l_j,...; сумматор перемещений *2* (обычно рычажного типа); система *3*, измеряющая компенсац. способом величину суммарного перемещения; преобразователь *4*, преобразующий выходное давление в пропорц. перемещение обратной связи (обычно это сильфонное устройство). П. с. реализует зависимость вида

$$P = k\sum_{i=1}^{n} k_i p_i - k\sum_{j=1}^{m} k_j p_j. \qquad (1)$$

Диапазон изменения k_i и k_j обычно неширок и ограничен конструктивными соображениями. Практически, в силу громоздкости изложенного метода суммирования, приходится существенно ограничивать количество слагаемых (обычно не более 2). Примером реализации П.с., действие к-рого основано на принципе компенсации перемещений, служит каскад пневматич. изодромного регулятора типа 04 [1].

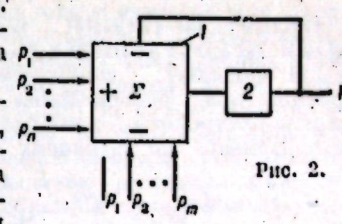


Рис. 2.

В структурную схему П.с., действие которого основано на принципе компенсации сил (моментов) (рис. 2), входят: устройство *1*, измеряющее компенсац. способом разность сумм входных давлений с последующим преобразованием результата измерения в пропорц. силу (момент) (соответствующая операция $\sum_{i=1}^{n} k_i p_i - \sum_{j=1}^{m} k_j p_m = F$ обычно выполняется блоком, состоящим из набора мембран, связанных между собой общим штоком), устройство *2*, преобразующее силу (момент) в пропорциональную ей величину давления P (в устройстве *2* обычно используется пневматич. реле типа «сопло-заслонка»). Сумматор выполняет операцию (1). Количество слагаемых, как и в предыдущем сумматоре, ограничено. Примерами сумматоров этого типа могут служить блок суммирования БС-34А, входящий в комплект *агрегатной унифицированной системы* (АУС) [2], а также сумматор типа СП-5017 [3].

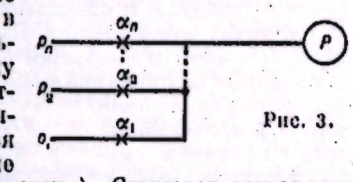


Рис. 3.

В дроссельном некомпенсац. чисто пневматич. сумматоре входные давления p_1, p_2,..., p_n подводятся к пост. ламинарным дросселям α_1, α_2, ..., α_n (рис. 3). Выходное давление P устанавливается в линии, объединяющей выходы всех дросселей. Пренебрегая емкостью выходной линии и нелинейностью дросселей, имеем

$$P = \sum_{i=1}^{n} k_i p_i, \qquad (2)$$

где $k_i = \alpha_i / \sum_{i=1}^{n} \alpha_i$; α_i — коэфф. пропорциональности i-того дросселя и, следовательно,

$$0 < k_i < 1, \quad \sum_{i=1}^{n} k_i = 1. \qquad (3)$$

Условия (3) существенно ограничивают возможности рассматриваемого сумматора: при его помощи обычно нельзя производить вычитание. Однако сумматоры подобного типа, будучи наиболее простыми, широко применяются в устройствах пневмоавтоматики для решения задач, соответствующих условиям (3). В качестве примера можно указать на сумматор камеры положит. обратной связи регулирующего блока АУС [2].

Лит.: 1) Андерс В. Р. и Шапталов Н. Ф., Автоматическое регулирование процессов переработки нефти, 2 изд., М., 1954; 2) Березовец Г. Т. и Козлов И. Ф., Приборы пневматической агрегатной унифицированной системы, М., 1956; 3) Кривой П. П., Новиков А. А., Шапурин П. М., Пневматические приборы для автоматизации теплового режима мартеновской печи, «П», 1960, № 10; 4) Залманзон Л. А., Семикова А. И.,

Исследование характеристик пневматических камер, используемых в качестве сумматоров, в кн.: Вопросы пневмо- и гидро-автоматики, М., 1960.

В. Н. Черныше.

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ (pneumatic function generator; convertisseur de fonctions pneumatique; pneumatischer Funktionsumformer) — устройство, преобразующее и выходное давление по заданному закону сигналы,

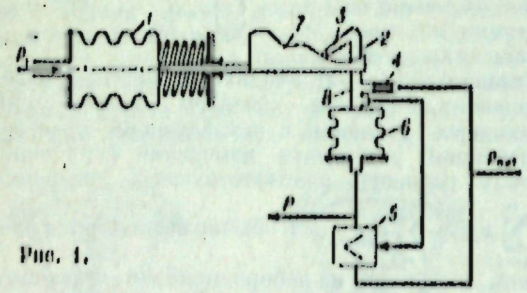


Рис. 1.

поступающие на его входы в виде давлений сжатого воздуха. В пневматических вычислит. устройствах применяются П.ф.п. с профильным кулачком и следящим соплом и П.ф.п., основанные на принципе кусочно-линейной аппроксимации. Примером П.ф.п. с профильным кулачком может служить преобразователь ПД-30А, входящий в комплект *агрегатной унифицированной системы*. Уравнение, характеризующее статику П.ф.п., имеет вид: $P = q(p_{вх})$, где значение ф-ции φ обусловлено профилем кулачка.

П.ф.п. со следящим соплом (рис. 1) состоит из сильфонного устройства *1*, перемещающего пластину *7* с профилем, соответствующим заданной ф-ции, первичного реле *2*, состоящего из сопла *3* и пост. дросселя *4*, вторичного реле *6* и сильфона обратной связи *8*. Входное давление p_1, подаваемое в сильфонное устройство *1*, перемещает пластину *7*, к-рая открывает или прикрывает сопло. При этом давление в междроссельной камере *8* соответственно увеличивается или уменьшается. Изменение давления в междроссельной камере первичного реле повторяется в набранном масштабе усилителем мощности *5* и с его выхода поступает в сильфон обратной связи *8*, к-рый, перемещая сопло *3*, устанавливает давление в междроссельной камере (а следовательно, и на выходе прибора), пропорциональное ординате профиля, находящейся против сопла.

П.ф.п. с кусочно линейной аппроксимацией аппроксимирует заданную ф-цию отрезками прямых линий.

Принцип действия блока (рис. 2) основан на приближ. представлении ф-ции $p_{вых} = f(p_{вх})$ в виде $p_{вых} = p_{вых\,l} + K_l(p_{вх} - p_{вх\,l})$, где $p_{вх}$ — текущее значение аргумента; $p_{вх\,l}$ — абсцисса начала l-того участка разбиения, $p_{вых\,l}$ — ордината ф-ции $p_{вых} = f(p_{вх})$ для $p_{вх} = p_{вх\,l}$; K_l — тангенс угла наклона прямой, соединяющей концы $(l+1)$-ой и l-той ординат. Значения ординат $p_{вых\,l}$ устанавливаются на выходе задатчиков *1*, к-рые через клапаны *2* соединяются с камерой «плюс» сумматора *12*. Разность $(p_{вх} - p_{вх\,l})$ формируется в сумматоре *6*, в камеру «плюс» к-рого подается сигнал аргумента $p_{вх}$, а в камеру «минус» — через клапаны *3* сигналы $p_{вх\,l}$, устанавливаемые задатчиками *4*. Выходной сигнал сумматора *6* через блоки коэфф. *7* и клапаны *8* проходит на вход реле *10* и *11*. С помощью последних осуществляется подача этого сигнала в камеру «плюс» или «минус» сумматора *12*, в соответствии со знаком K_l. Управление узлами блока осуществляется с помощью блоков сравнения *5*, сигналы управления $p_{упр}$ к-рых поступают к соответствующим клапанам *2*, *3* и *8*. На блок сравнения подаются сигналы $p_{вх\,l}$ после задатчиков *4*, к-рые сравниваются с текущим значением аргумента $p_{вх}$. Выходной сигнал блока сравнения

$$p_{упр} = 1 \text{ при } p_{вх\,l} + \Delta p \geqslant p_{вх} \geqslant p_{вх\,l},$$
$$p_{упр} = 0 \text{ при } p_{вх\,l} + \Delta p < p_{вх} < p_{вх\,l},$$

где

$$\Delta p = p_{вх\,(l+1)} - p_{вх\,l}.$$

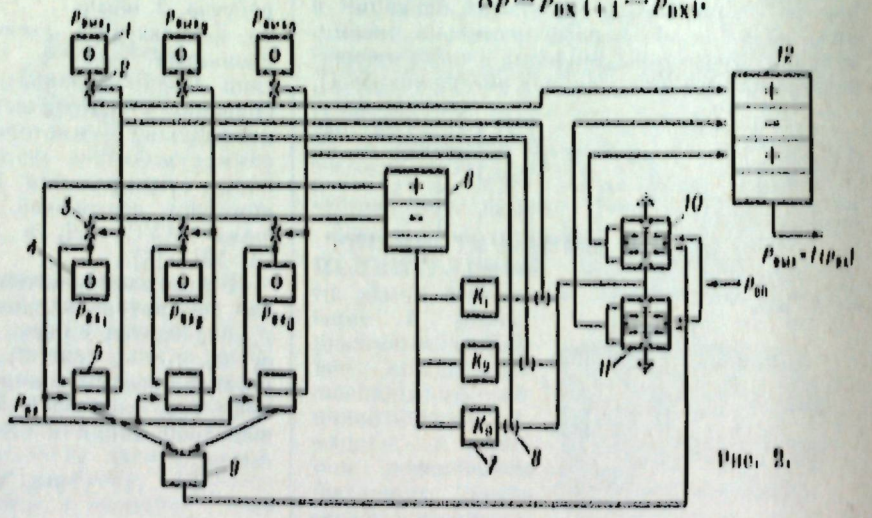


Рис. 2.

Каждый блок сравнения имеет $p_{упр} = 1$ только на одном участке разбиения всей абсциссы Δp, при этом выход сумматора *12* равен $p_{вых\,l} + K_l(p_{вх} - p_{вх\,l})$. Управление реле *10* и *11* производится блоком *9*, представляющим собой логич. схему «или», построенную на пневмороле. К блоку *9* подключаются выходы тех блоков сравнения, у к-рых соответствующие коэфф. K_l положительны. В свободные камеры реле *10* и *11* подается опорное давление, равное 0,5 *кг/см*^{2}.

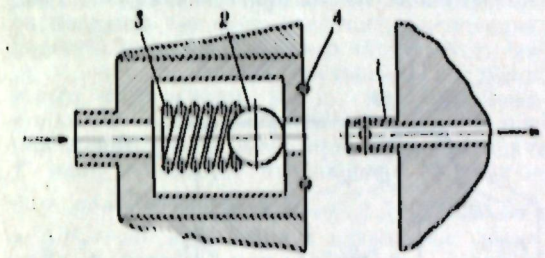
П.ф.п. позволяет в результате перенастройки воспроизводить различные функциональные зависимости. В этом смысле он представляет собой универсальный прибор. Частный случай П.ф.п. — множительно-делительные устройства, осуществляющие соответственно операции умножения и деления сигналов, подаваемых на их входы в виде давления сжатого воздуха, а также извлечение квадратного корня. Большая часть множительно-делительных устройств представляет собой пневмомеханич. системы, в к-рых основная математическая операция осуществляется на рычагах с последующим компенсационным

преобразованием результата в давление сжатого воздуха. Подобные устройства могут быть легко видоизменены в устройства для деления двух независимых переменных или для извлечения квадратного корня из одной переменной.

Лит.: Дмитриев В. Н., Черныше в В. Н., Пневматические вычислительные приборы непрерывного действия, М.—Л., 1962.

Н. Д. Лаппо, В. Н. Черныше.

ПНЕВМАТИЧЕСКИЙ ШТЕКЕР (pneumatic plug connector; fiche de raccord pneumatique; pneumatischer Stecker) — легкоразъемное устройство для присоединения и отсоединения пневматич. приборов. Простейшим П.ш. служат 2 пластины с просверленными в них каналами, к-рые сообщаются между собой и уплотняются в месте разъема

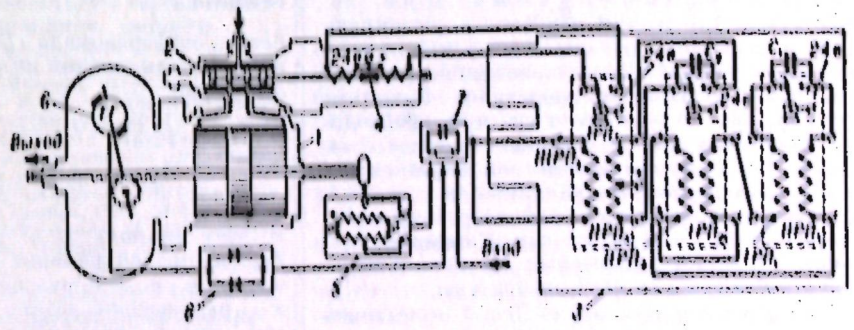


при наложении их друг на друга. При отсоединении прибора, присоединенного таким П.ш., необходимо дополнительно заглушать каналы, идущие к нему, чтобы не нарушать работу др. приборов. Этот недостаток устраняется применением более сложных П. ш., в к-рых имеется шариковый замок, расположенный на напорной части воздухопровода (рис.). При присоединении прибора его штуцер *1* отжимает шарик *2* и воздух поступает в прибор. Уплотнение производится резиновым кольцом *4*. Когда прибор отсоединен, шарик *2* под действием пружины *3* отходит вправо, перекрывая воздухопровод. Штекерами такого рода оснащены пневматич. регуляторы отечественной системы АУС и регуляторы зарубежных фирм «Moore», «Electrofloo, «Bunvlo и др. При норм. диапазоне давлений, малых габаритных размерах П. ш. и сохранении их легкораз емности трудно создать надежные уплотнения. Большие возможности для применения штекерных разъемов появляются при переходе на низкие давления питания.

В. О. Шкарбов.

ПНЕВМОНИКА — см. *Струйная техника.*

ПНЕВМОПРИВОД ВИБРАЦИОННЫЙ (vibrating pneumatic drive; commande pneumatique vibratoire; pneumatischer Vibrationsantrieb) — пневмопривод релейного действия, линеаризация релейной хар-ки к-рого осуществляется наложением ВЧ колебаний на управляющее устройство — золотник, струйную трубку или сопло-заслонку с управляющим электромагнитом. П.в., имеющие хар-ку с небольшим участком линейности, обладают большим быстродействием. Благодаря наличию в хар-ке зоны линейности П.в. имеет либо устойчивое положение равновесия, либо колебания малой амплитуды. ВЧ колебаниями могут являться вынужденные колебания или автоколебания. *Линеаризацию вибрационную* с помощью вынужденных колебаний от внешнего источника перем. тока (генератора колебаний) часто наз. *линеаризацией принудительной*. Вибрационная линеаризация (ВЛ) с помощью автоколебаний сводится обычно к охватыванию релейного элемента запаздывающей обратной связью или к введению в систему последовательных и параллельных корректирующих устройств (внутренних колебательных контуров). Параметры запаздывающей обратной связи и корректирующих устройств выбираются такими, чтобы амплитуда автоколебаний, существующих в системе без ВЛ, уменьшилась до величины, меньше допустимой в данном П. в. В этом случае обычно считают, что автоколебания в П. в. подавлены. Частота и амплитуда вынужденных колебаний в случае ВЛ выбираются с учетом фильтрующих св-в пневмопривода. П. в. с ВЛ обладает гибкостью в смысле возможности изменения в широких пределах частоты и амплитуды вынужденных колебаний (колебаний электромагнитного устройства). Недостаток П. в. с внутренним колебат. контуром — сравнительно низкая частота (менее 40 *гц*) и недостаточная стабильность колебаний. В силовых П. в. преимущественно применение находят золотниковые управляющие устройства. П. в., применяемые в качестве рулевых машинок на самолетах и ракетах, должны иметь высокую точность и быстродействие при отсутствии автоколебаний на выходном валу. В менее ответств. системах автоматич. регулирования и управления иногда бывают допустимы автоколебания на выходе пневмопривода с невысок. амплитудой и высокой частотой. П.в., на выходе к-рых в установившемся состоянии недопустимы



колебания, имеют режим работы, отличный от режима, обычного для виброконтуров. В этом случае управляющее устройство при отсутствии входного сигнала совершает колебания лишь в пределах зоны нечувствительности. В пределах зоны линейности ось колебаний управляющего устройства смещается пропорционально входному сигналу. Если уровень входного сигнала превышает зону линейности, то управляющее устройство совершает полное рабочее перемещение, открывая до конца одно из окон для доступа воздуха и соответствующую полость исполнит. механизма. На рис. в качестве примера приведена принципиальная схема П.в. с поршневым исполнит. механизмом *1*, золотником *2* и

управляющим электромагнитом *4*. Блок управления *3* состоит из трех поляризованных реле $РП$. Реле $РП_1$ входит в схему генератора колебаний, к-рым служит независимый виброконтур RLC, образованный обмотками *I* $РП_1$ и *II* $РП_1$, реле $РП_1$ и конденсатором C_1. Реле $РП_2$ служит промежуточным каскадом. Управляющие сигналы с сумматора 7 и сигналы с генератора суммируются на реле $РП_3$. Контакты реле $РП_3$ используются для переключения обмоток электромагнита *4*. П.в. имеет жесткую *5* и нелинейную скоростную *6* обратные связи.

Лит.: Сессия АН СССР по научным проблемам автоматизации производства 15—20 окт. 1956 г. Научно-технические проблемы автоматизированного электропривода, М., 1957; Горская Н. С., Мызин В. И., Электропневматический сервомеханизм с вибрационным блоком управления, М., 1959. *Н. С. Горская.*

ПНЕВМОПРИВОД ПОРШНЕВОЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ (automatic pneumatic piston drive; commande automatique pneumatique à piston; automatischer pneumatischer Kolbenantrieb) — автоматически управляемый пневматический поршневой механизм. П.п.а. широко распространены в металлургич. промышленности, в машиностроении и др. отраслях производства. Необходимое условие автоматизации пневмоприводов — оснащение их *распределителями сжатого воздуха* с дистанционным управлением. В металлургич. машинах обычно применяют распределители с электропневматич. управлением. В релейных схемах автоматики катушки распределителей переключаются контактами, в бесконтактных схемах,— как правило, силовыми полупроводниковыми триодами. При автоматизации станков и станочных линий применяют распределители с пневматич. управлением, команды на переключение к-рых подаются, напр., от пневматич. путевых выключателей. П.п.а. подразделяются на короткоходовые и длинноходовые.

Для короткоходовых П.п.а. характерно, что воздух подается в расширяющуюся полость в течение всего времени хода из одного крайнего положения в другое. Скорость в процессе движения обычно не регулируют. Плавность хода при необходимости достигается применением *дросселя пневматического*. Схемы автоматики короткоходовых пневмоприводов сравнительно просты и составляются с учетом графика работы механизмов в технологич. потоке. Командные импульсы в схемы подаются от датчиков автоматики, путевых выключателей и т. п.

Длинноходовые П.п.а. (с длиной хода до 10—12 *м*), широко применяемые в трубопрокатном производстве, развивают скорость движения до 6 *м/сек* при весе перемещающихся частей до 1000 *кг* и более. Для предотвращения удара необходимо с высокой точностью подавать в процессе движения команды на начало и конец торможения противодавлением. Такие пневмоприводы автоматизируются с помощью спец. электронных решающих устройств, которые вычисляют для каждого хода путь торможения в зависимости от скорости движения поршня и давления воздуха в магистрали. Применением этих устройств достигается оптимальное управление пневмоприводами, позволяющее значительно повысить производительность трубопрокатных установок.

Лит.: Вейцков В. И., Пневмоавтоматика в производственных машинах, ч. 1, Л., 1951; Канцельсон М. Е., Ополь В. Л. и Челюстькин А. В., Автоматизация трубопрокатных станов, М., 1954; Волков В. В., Гутников Э. Ю., Костенко М. А., Автоматическое управление длинноходовым пневмоприводом, Свердловск, 1962. *В. В. Волков, М. А. Костенко.*

ПНЕВМОПРИВОД СЛЕДЯЩИЙ ПОРШНЕВОЙ (pneumatic piston servo-drive; servo-commande pneumatique à piston; pneumatischer Folge-Kolbenantrieb) — следящая система, в к-рой силовым органом служит пневматич. поршневой механизм. П.с.п. с успехом применяется в случаях, когда необходимо получить значительное перемещение регулируемого органа и большое перестановочное усилие (автопилоты, перемещение шиберов и заслонок в доменном производстве и др.). Типовая схема П.с.п. приведена на рис. При

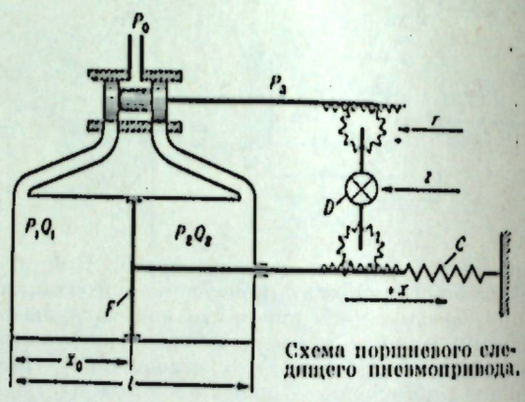


Схема поршневого следящего пневмопривода.

разработке и эксплуатации П.с.п. возникают вопросы, связанные с работой самого *пневматического поршневого исполнительного механизма* и с устойчивостью работы и качеством переходных процессов в П.с.п. в целом. Исходными ур-ниями для исследования динамики П.с.п. являются: ур-ние динамич. равновесия штока: $(P_1-P_2)F=m\frac{d^2x}{dt^2}+\delta\frac{dx}{dt}+cx$; уравнение дифференциала (D, на рис.) $y=i_1z-i_2x$ и ур-ния заполнения и опорожнения полостей цилиндра:

$$\frac{1}{F}\frac{dQ_1}{dt}=\gamma_1\frac{dx}{dt}+(x_0+x)\frac{d\gamma_1}{dt};$$
$$\frac{1}{F}\frac{dQ_2}{dt}=-\gamma_2\frac{dx}{dt}+(l-x_0-x)\frac{d\gamma_2}{dt}.$$

В этих ур-ниях: P_1 — давление в левой, а P_2 — в правой камерах цилиндра; F — площадь, а m — приведенная масса поршня; x — перемещение штока; t — время; δ — коэфф. демпфирования; c — жесткость пружины; z — входная величина; i_1 и i_2 — передаточные числа; y — перемещение золотника; γ_1 и γ_2 — уд. вес воздуха в левой и правой камерах цилиндра; l — длина цилиндра; $x_0=l/2$ — координата, определяющая начальное положение поршня; Q_1 и Q_2 — вес воздуха соответственно в левой и правой камерах цилиндра; $\frac{dQ_1}{dt}$ и $\frac{dQ_2}{dt}$ — мгновенные весовые расходы через окна золотника. Принято, что: отсутствует сухое трение поршня и штока о цилиндр; движение воздуха является квазистационарным; масса золотника и его трение пренебрежимо малы.

Линеаризованное ур-ние П.с.п. при исключении всех переменных, кроме входной координаты z и выходной координаты x, имеет след. вид:

$$a_0\frac{d^3x}{dt^3}+a_1\frac{d^2x}{dt^2}+a_2\frac{dx}{dt}+a_3x=kz(t),$$

где

$$a_0=\frac{m}{2i_2aF};\ a_1=\frac{\delta}{2i_2aF};\ a_2=\frac{b}{2i_2a}+\frac{c}{2i_2aF};$$
$$a_3=1;\ k=\frac{i_1}{i_2};\ a=1{,}13\mu hP_0\sqrt{gRT}/lF;$$
$$b=1{,}6P_0/l;$$

μ — коэфф. расхода воздуха через окно золотника, принимаемый постоянным; h — ширина окон золотника; g — ускорение силы тяжести; R — газовая постоянная воздуха; T — абс. темп-ра воздуха; P_0 — давление питания, к-рое во все время работы П.с.п. остается постоянным. Линеаризованное ур-ние справедливо при след. дополнит. допущениях: перекрытие окон золотника отсутствует, ширина окон золотника постоянна, нагрузки, к-рым подвергается П.с.п., малы; рассматриваются малые отклонения относительно положения равновесия, при к-рых давление P_1 мало отличается от давления P_2 (величина x мала по сравнению с $\frac{l}{2}$, а величины ΔP_1 и ΔP_2 — по сравнению с начальным давлением в камерах при работе без нагрузки $P_н=0{,}8\ P_0$).

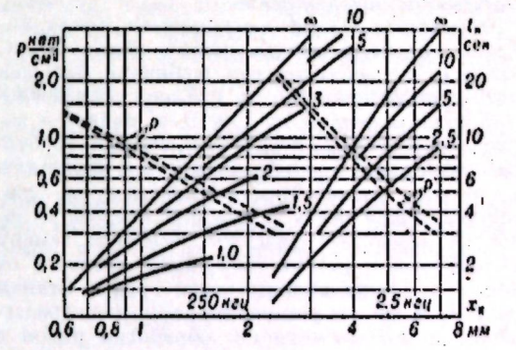
Обычно давление питания $P_0=4$ *ат*, а $P_a=1$ *ат*. При этом для основной части рабочего процесса П.с.п. характерны докритич. истечение на входе в камеру наполнения и надкритич. истечение на выходе из камеры опорожнения. При выводе линеаризованного ур-ния движения П.с.п. принято также, что процесс протекания воздуха через окна золотника является адиабатическим, а переход из области с давлением P_0 в область с давлением P_1, а затем в область с давлением P_2 и в область с давлением P_a — изотермическим. Для увеличения устойчивости П.с.п. к обеим камерам цилиндра присоединяют через пневматич. сопротивления дополнит. емкости.

Лит.: Вересович Г. Т., Дмитриев В. Н., Наджафов Э. М., О допустимых упрощениях при расчете пневматических регуляторов, «И», 1957, № 4; Челомей В. Н., О пневматических сервомеханизмах, «ИАН. ОТН», 1954, № 5; его же, Исследование пневматических и гидравлических сервомеханизмов, в кн.: Автоматическое управление и вычислительная техника, в. 1, М., 1958; Levenstein H., The simplicity to power with pneumatic servomechanisms, «Control Engng», 1955, № 6; Shearer J. L., Nonlinear analog study of high-pressure pneumatic servomechanism, «Trans. ASME», 1957, v. 79, № 3. *В. Н. Дмитриев.*

***p—n*-ПЕРЕХОД** (p—n-transition; transition p—n; p—n-Übergang) — см. *Электронно-дырочный переход*.

ПОВЕРХНОСТНАЯ ЗАКАЛКА при индукционном нагреве (skin tempering by induction heating; trempe superficielle par chauffage à induction; Oberflächen-Induktionshärtung) — термич. обработка, повышающая твердость и износостойкость стальных или чугунных деталей. Сердцевина деталей при П. з. сохраняет исходные механич. свойства и структуру. Упрочняемый участок поверхности детали нагревается до темп-ры закалки на заданную глубину тепловым действием вихревых токов, возбуждаемых электромагнитным полем *индуктора нагревательного*; затем нагретая поверхность охлаждается либо подачей из спрейеров воды, водных растворов, водо-воздушной смеси, сжатого воздуха, либо

перемещением в масло и др. жидкие среды. Индукторы питаются от машинных или ламповых генераторов требуемой частоты и мощности. Частота (см. *Индукционного нагрева частота тока*) выбирается в соответствии с формой и размерами детали, заданной глубиной закаленного слоя, требуемой производительностью и служит основным параметром, определяющим режим нагрева. Двумя др. параметрами являются время нагрева и удельная мощность, сообщаемая единице нагреваемой



Зависимость времени нагрева $t_н$ и удельной мощности P от глубины закаленного слоя x_k для нагрева цилиндрич. деталей из стали 45 при частоте тока 250 и 2,5 *кгц*. Цифрами на кривых обозначен диаметр цилиндров (*см*).

поверхности (рис.). Темп-ра нагрева поверхности под П. з. для образования гомогенного твердого раствора задается, как правило, примерно на 50—100° выше, чем при сквозном нагреве данной марки стали или чугуна в печах и ваннах.

Для получения высокой производительности при П.з. нагреву и последующему охлаждению подвергается сразу весь участок поверхности, подлежащий упрочнению (одновременный способ). При этом мощность генератора:

$$P_г=\frac{PS}{\eta_и\ \eta_0}\ квт, \qquad (1)$$

где $\eta_и$ — кпд индуктора (0,75—0,80); η_0 — общий кпд закалочного тр-ра, конденсаторной батареи и др. элементов колебат. контура (0,7—0,8); P — уд. мощность, необходимая для нагрева слоя заданной толщины (*квт/см²*); S — площадь нагреваемой поверхности, находящейся в зоне действия индуктора (*см²*).

При П. з. больших поверхностей (напр., шеек крупных валов) индуктор и спрейерное устройство непрерывно движутся вдоль поверхности детали по всей зоне закалки со скоростью 0,2—5,0 *см/сек* или деталь перемещается относительно неподвижных индуктора и спрейера (непрерывно-последоват. способ). Мощность генератора при данном методе обработки определяется площадью поверхности детали, находящейся в перем. электромагнитном поле индуктора. При этом учитываются также дополнит. потери тепла в зоне охлаждения — 20—25% от вычисленного по ф-ле (1). Ширина индуктора $b=t_и v_и$ *см*, где $t_и$ — время нагрева элемента поверхности (сек.), $v_и$ — выбранная скорость движения индуктора (*см/сек*). Время закалки данного участка поверхности детали $t=\frac{l}{v_и}$ сек., где l — длина зоны закалки (в направлении движения индуктора).

Непрерывно-последоват. способом можно закаливать весьма большие поверхности при

питании индуктора от сравнительно маломощных генераторных устройств. Для получения равномерного нагрева и охлаждения цилиндрич. детали в процессе одновременной и непрерывно-последоват. обработки приводят во вращение. При правильном выборе технологии П. з. деформация массивных деталей весьма мала, поскольку основная часть сечения не подвергается нагреву. Поэтому П. з. иногда производят после окончат. механич. обработки. Однако при П. з. в деталях создаются остаточные напряжения.

Вследствие малой длительности цикла нагрева под П. з., составляющей обычно неск. секунд, и необходимости возможно большей загрузки генераторов по времени, обязательной частью установки для П. з. является закалочный станок, к-рый обеспечивает требуемое расположение обрабатываемой детали в индукторе и необходимую программу ее движения, очередность и режимы нагрева и закалки отдельных участков, быструю замену обработанной детали, защищает рабочего от брызг и паров охлаждающей среды. Станки для П. з. могут устанавливаться непосредственно в потоке механич. обработки рядом с металлорежущими станками. Высокопроизводит. закалочные станки, особенно для мелких деталей, снабжаются бункерами и автоматич. загрузочными устройствами. Ламповые генераторы располагаются рядом с закалочными станками; ВЧ машинные генераторы могут быть вынесены на расстояние до 50—100 *м* от станка в машинный зал; от одного или неск. параллельно работающих машинных генераторов можно централизованно питать ряд автоматически поочередно подключаемых закалочных станков. Управление нагревом и охлаждением производится гл. обр. автоматически. Постоянство режима нагрева обеспечивается стабилизаторами в цепи напряжения питания индуктора.

Сов. пром-сть выпускает серийные закалочные установки типа ЛГЗ с *генераторами ламповыми* и типа МГЗ с машинными генераторами, укомплектованные силовой, ВЧ, автоматич. и измерит. аппаратурой. Закалочные станки к этим установкам проектируются и изготовляются отдельно. Установка для П. з. должна иметь достаточно мощную замкнутую циркуляц. систему снабжения водой и закалочными жидкостями, рассчитанную на отвод тепла, выделяемого при охлаждении деталей. Закалочные установки с ламповыми генераторами должны быть экранированы (см. *Помехоподавляющие устройства*); если уровень помех радиоприему превышает разрешенные в данном диапазоне частот нормы, эксплуатация установки не разрешается.

Введение П. з. связано с корректировкой предшествующей и последующей технологии, согласованием технич. условий на термообработку, заменой марки стали. Использование П. з. обосновывается технико-экономич. анализом, устанавливающим, кроме себестоимости операции, источники и размеры экономии от замены марки стали, от исключения трудоемких и энергоемких технологич. операций, связанных со старой технологией сквозного нагрева в печах, от повышения производительности труда, сокращения брака, повышения срока службы деталей. В зависимости от действующего тарифа на электроэнергию и хар-к установки уд. вес расходов на электроэнергию составляет до 30%; энергия, потребленная из сети, превышает в 1,5—2 раза энергию, переданную ВЧ генератором в деталь. В случае незначит. загрузки закалочной установки по времени и мощности расходы на амортизацию и заработную плату (с накладными расходами) могут стать преобладающими. При анализе рентабельности П. з., кроме срока окупаемости капиталовложений, должны также учитываться повышение культуры произ-ва, улучшение условий труда термистов и др. ценные качества данного способа скоростной обработки изделий самых различных габаритов и форм.

Лит.: Вологдин В. П., Поверхностная индукционная закалка, М., 1947; Лозинский М. Г., Промышленное применение индукционного нагрева, М., 1958; Дорской А. В., Рамм Г. С., Вигдорович Ю. Б., Высокочастотные электротермические установки с ламповыми генераторами, М.—Л., 1957; Библиотечка высокочастотника-термиста, 2 изд., в. 1—10, 16, М.—Л., 1957. *А. Д. Демичев.*

ПОВЕРХНОСТНЫЙ ЭФФЕКТ, скин-эффект (skin effect; effect superficiel; Oberflächeneffekt),— неравномерное распределение плотности переменного тока по сечению провода. П. э. можно объяснить, рассматривая проникновение электромагнитного поля в глубь провода из пространства, окружающего провод. Чем выше частота перем. тока и чем меньше уд. сопротивление материала проводника, тем сильнее проявляется П. э. Ток ВЧ течет практически только по поверхности провода.

Неравномерное распределение плотности тока по сечению проводника при П. э. увеличивает его активное сопротивление и приводит к тому, что активное сопротивление проводника перем. току больше, чем пост. току. П. э. для токов промышленной частоты (50—400 *гц*) сказывается лишь при больших сечениях медных проводов. В стальных проводах вследствие большой магнитной проницаемости стали П. э. заметен уже при НЧ и малых сечениях проводов. На СВЧ П. э. проявляется в том, что глубокие слои проводника практически не оказывают влияния на протекание электромагнитных процессов. Глубина проникновения электромагнитного поля на СВЧ составляет тысячные и десятитысячные доли *мм*. Глубиной проникновения поля наз. величину Δ, показывающую, на каком расстоянии от поверхности проводящего слоя амплитуда электромагнитной волны уменьшается в $e=2{,}718\ldots$ раз.

Амплитуда поля убывает по экспоненц. закону, и на глубине в неск. Δ поле становится весьма слабым. При расчетах на СВЧ учитывается не площадь сечения, а периметр проводника. На практике для уменьшения омич. потерь обычно производят гальванич. покрытие стенок волноводов, резонаторов и др. элементов слоем серебра толщиной всего в неск. микрон, т. к. в более толстом слое нет необходимости (на бо́льшую глубину ток проникнуть не может).

Проявление П. э. широко используется в технологии термич. обработки стали (см. *Поверхностная закалка*), а также при пайке, сварке и др. операциях, проводимых при *индукционном нагреве*.

Лит.: Круг К. А., Основы электротехники, 6 изд., т. 2, М.—Л., 1946; Никольский В. В., Теория электромагнитного поля, М., 1961; Нейман Л. Р., Калантаров П. Л., Теоретические основы электротехники, 4 изд., ч. 2—3, М.—Л., 1954 (ч. 2, с. 66—70, ч. 3, с. 211—19).
И. А. Минасян, В. И. Шебанов.

ПОВТОРНО-КРАТКОВРЕМЕННЫЙ РЕЖИМ электрического аппарата (short-time repetitive duty; régime transitoire répétitif; periodischer Kurzzeitbetrieb) — режим работы аппарата, в к-ром период нахождения под нагрузкой (период включения $t_в$) чередуется с периодом отключ. состояния (паузой $t_п$) так, что темп-ра любых частей электрич. аппарата не достигает в период включения установившегося значения, а в период паузы — темп-ры холодного состояния. П.-к. р. характеризуется длительностью цикла ($t_в+t_п$) и продолжительностью включения (ПВ), к-рая определяется отношением периода включения $t_в$ к времени цикла. ПВ выражается в процентах: $\text{ПВ}=\frac{t_в}{t_в+t_п}100\%$.

Если предположить, что уд. теплоотдача с токоведущих частей аппарата не зависит от темп-ры, то при одном и том же макс. допустимом значении темп-ры токоведущие части в П.-к. р. допускают перегрузку по мощности по сравнению с длительным режимом в n раз:

$$n=\frac{P}{P_y}=\frac{1-e^{-\frac{t_в+t_п}{T}}}{1-e^{-\frac{t_в}{T}}},$$

где P — мощность, выделяемая в токоведущих частях в период включения, P_y — мощность, допустимая при длит. режиме включения, T — тепловая постоянная времени. Если время цикла меньше постоянной времени, то кратность перегрузки достаточно хорошо выражается ф-лой:

$$n=\frac{t_в+t_п}{t_в}=\frac{100}{\text{ПВ}\%}.$$

Е. Л. Львов.

ПОГРЕШНОСТЬ в САР (error; erreur; Fehler) — разность между значением регулируемой величины X в процессе регулирования и ее заданным значением X_0. В случае регулирования неск. параметров $X_1, X_2, \ldots, X_n$ существует вектор погрешности $x=X_0-X$ и задача САР — сделать его в определенном смысле малым. Погрешность $x(t)$ можно в любой момент рассматривать как сумму двух погрешностей $x=x_s+x_d$, где x_s — П. в установившемся режиме и x_d — П. в переходном процессе. Они определяют соответственно *точность статическую* и *точность динамическую* САР. В САР обычно требуется обеспечить устойчивость и малую величину установившейся П. К погрешности в переходном процессе предъявляются дополнит. требования, связанные с выполнением заданных *качества показателей* и др. ограничениями, к-рые накладываются на x_d, производные $\frac{d^k x_d}{dt^k}$ и время регулирования T_0. При статич. анализе и синтезе САР погрешность $x(t)$ является случайной ф-цией и разделение ее на установившуюся и переходную П. теряет свой смысл. В этом случае качество работы САР оценивают по критериям, связанным или с различными средними значениями $x(t)$ (напр., по критерию минимума средней квадратич. ошибки), или с др. вероятностными хар-ками П. $x(t)$ (см. *Оптимальные системы*).

А. И. Тейман.

ПОГРЕШНОСТЬ ДИСКРЕТНОСТИ (truncation error; erreur de tronquage; Quantisierungsfehler, Diskretisierungsfehler) — погрешность, возникающая в результате представления непрерывной величины огранич. числом уровней. Чаще всего выбирается ряд равноотстоящих уровней с одинаковым шагом квантования. Если число дискретных уровней равно N, а диапазон измеряемой величины — A, то шаг квантования $\Delta=\frac{A}{N-1}$. Замена действит. значения измеряемой величины ближайшим дискретным значением вызывает П. д. ε, к-рая может принять любое значение в диапазоне от $-\frac{\Delta}{2}$ до $+\frac{\Delta}{2}$. При достаточно большом числе N распределение П. д. внутри интервала $\left[-\frac{\Delta}{2}+\ldots+\frac{\Delta}{2}\right]$ будет равномерное, независимо от закона распределения самой измеряемой величины. Вероятность $p(\varepsilon)$ того, что П. д. принимает значение ε,

$$p(\varepsilon)=\begin{cases}\frac{1}{\Delta} \text{ при } |\varepsilon|\leqslant\frac{\Delta}{2}\\ 0 \text{ при } |\varepsilon|>\frac{\Delta}{2}.\end{cases}$$

Среднеквадратичное значение П. д., определяемое по ф-ле:

$$\varepsilon_{\text{ср.кв.}}=\sqrt{\int_{-\Delta/2}^{+\Delta/2}p(\varepsilon)\,\varepsilon^2\,d\varepsilon},$$

равно $\frac{\Delta}{2\sqrt{3}}$. Приведенная к диапазону изменения величины A максимальная П. д. $\delta_{\text{макс}}=\frac{1}{2(N-1)}$, а приведенная среднеквадратичная П. д. $\delta_{\text{ср.кв.}}=\frac{1}{2\sqrt{3}(N-1)}$.

П. д. служит хар-кой преобразователя непрерывной величины в код. Она имеет место в цифровых измерит. приборах, в кодоимпульсных и аналоговых телеизмерит. системах, снабженных устройствами цифрового воспроизведения показаний.

Лит.: Левин Б. Р., Теория случайных процессов и ее применение в радиотехнике, 2 изд., М., 1960.
Я. А. Купершмидт.

ПОГРЕШНОСТЬ ИЗМЕРЕНИЯ (measurement error; erreur de mesure; Meßfehler) — разность между значением x измеряемой величины, полученным в результате измерения, и истинным значением измеряемой величины X. Абсолютной П. и. δ наз. разность $\delta=x-X$, выраженная именованным числом в единицах измеряемой величины. Относительной П. и. наз. отношение значения П. и. к значению измеряемой величины δ/x или δ/X. Относит. П. и.— неименованная правильная дробь, как правило, десятичная. Умножая значение относит. П. и. на 100, получают ее выражение в %. Поскольку $\delta\ll X$, в большинстве случаев безразлично, по отношению к какому значению измеряемой величины (X или x) вычисляется относит. погрешность.

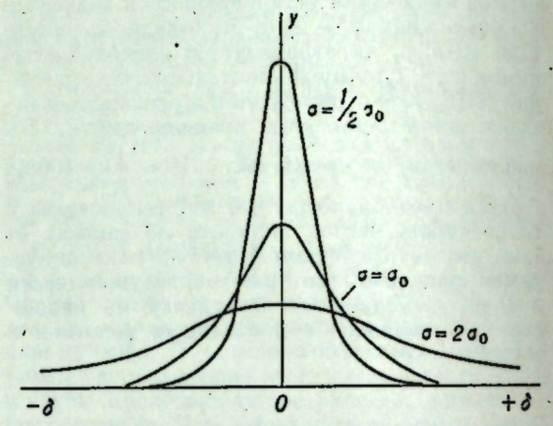
По характеру причин их возникновения П. и. делят на две основные группы: систематич. и случайные. Систематич. П. и. возникают закономерно под действием определенных известных факторов, могут быть изучены и исключены из результатов измерений путем внесения поправок или применения соответствующих приемов при проведении измерений. К систематич. П. и. относятся:

инструментальные погрешности, обусловленные несовершенством или недостатками средств измерения, напр. ошибки градуировки прибора, неправильность подгонки мер и т. п.; погрешности установки, обусловленные неправильной установкой или неправильным расположением измерит. аппаратуры, напр. неточной установкой прибора по уровню; погрешности, обусловленные влиянием внешних факторов, пост. или перем., но поддающихся учету или исключению, напр. влиянием магнитного поля Земли или др. магнитных полей, темп-ры окружающей среды, атмосферного давления и т. п.; личные погрешности (постоянные), обусловленные индивидуальными особенностями наблюдателя, устойчивые или изменяющиеся, но поддающиеся учету, напр. запаздывание регистрации сигнала на определ. интервал времени и т. п.; методич. погрешности, обусловленные теоретич. погрешностью метода (напр., при измерении электрич. сопротивления методом амперметра—вольтметра, когда приходится учитывать сопротивление одного из этих приборов) или недостаточной изученностью метода, и т. п. Кроме того, по характеру проявления различают систематич. П. и.: постоянные, знак и значение к-рых не изменяются; прогрессивные, изменяющиеся регулярно (монотонно) в одном направлении; периодич., значение и знак к-рых изменяются периодически; изменяющиеся по сложному закону, изученному и определенному.

Случайные П. и. возникают незакономерно, под действием различных непост. причин, не связанных закономерной связью с процессом измерения. Влияние случайных погрешностей на точность результатов измерений определяется методами математич. статистики и теории вероятности путем изучения рядов повторных измерений. Определение закона распределения случайных П. и. практически весьма затруднительно. В большинстве случаев (что оправдывается опытом) принимают норм. распределение $y=\frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\cdot e^{-\frac{\delta^2}{2\sigma^2}}$, где y — частота появления значения случайной погрешности, равного δ; σ — средняя квадратическая погрешность ряда n измерений $\sigma=\sqrt{(\delta_1^2+\delta_2^2+\ldots+\delta_n^2)/n}$.

Для норм. распределения характерно симметричное расположение частот появления равных по величине, но противоположных по знаку погрешностей (см. рис.). Вершина кривой соответствует значению $\sigma=0$; чем меньше погрешности, тем чаще они повторяются.

Среднее арифметич. значение всех результатов измерений $\bar{x}$ тем ближе к истинному значению измеряемой величины (при условии отсутствия систематич. П. и.), чем больше количество измерений n; $\bar{x}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{i=n}x_i$. Средняя квадратическая погрешность σ характеризует рассеяние или разброс случайных погрешностей: чем меньше σ, тем больше частота появления малых погрешностей, тем точнее измерения. Вероятность появления погрешности, не превышающей σ, равна 0,68. Для техники σ считается недостаточно надежным критерием точности измерений. Обычно в качестве хар-ки принимают погрешность, равную 3σ, наз. предельной погрешностью. Вероятность появления погрешностей, не превышающих 3σ, равна 0,997. Приведенная выше формула норм. распределения справедлива при больших n. При малых n пользуются распределением Стьюдента, ближе согласующимся в этом случае с опытными данными. По Стьюденту, вероятность появления погрешностей, не превышающих 3σ, при 10 измерениях составляет 0,992.



Поскольку истинное значение измеряемой величины X неизвестно, вместо него при обработке результатов измерений пользуются средним арифметич. значением ряда измерений $\bar{x}$, как наиболее близким к истинному значению (при норм. распределении). Вместо погрешностей измерений в этом случае рассматривают отклонения результатов отдельных измерений от среднего арифметич. $v=x-\bar{x}$. Значения v называют остаточными погрешностями. Их свойства:

$$1)\ \sum_{i=1}^{i=n}v_i=0;\quad 2)\ \sum_{i=1}^{i=n}v_i^2=\min.$$

Для вычисления σ пользуются формулой

$$\sigma=\sqrt{\sum v_i^2/(n-1)}.$$

Т. к. среднее арифметич. значение $\bar{x}$ не точно равно истинному значению X измеряемой величины, то, заменяя X на $\bar{x}$, мы допускаем нек-рую погрешность среднего арифметич. $\lambda=\bar{x}-X$. Средняя квадратическая погрешность среднего арифметич. значения S определяется по формуле $S=\frac{\sigma}{\sqrt{n}}=\sqrt{\frac{\sum v_i^2}{n(n-1)}}$. Предельная погрешность равна $3S$.

При косвенных измерениях значение измеряемой величины Q определяется на основании результатов измерений неск. других величин X, Y, Z, ...:

$$Q=f(aX,\ bY,\ cZ,\ \ldots),$$

где a, b, c — коэфф. при соответствующих величинах, входящих в ф-лу определения Q. Для этого случая относит. средняя квадратическая или пред. погрешности измерения величины Q определяются по ф-ле

$$\xi_Q=\sqrt{a^2\xi_{0x}^2+b^2\xi_{0y}^2+c^2\xi_{0z}^2},$$

где относит. средние квадратические или пред. погрешности результатов измерений равны соответственно: для величины Q—ξ_0; для величины X—ξ_{0x}; для величины Y—ξ_{0y} и для величины Z—ξ_{0z}. Очень большие погрешности в правильно проведенном ряду измерений не встречаются. Результаты измерений, большие погрешности к-рых явно выпадают из ряда, как правило, являются результатом грубых ошибок наблюдателя и наз. промахами (неправильная запись отсчета, напр. 69 вместо 96, и т. п.). К промахам относят также грубые погрешности, возникающие, напр., вследствие резкого кратковременного изменения условий измерений (толчок, струя холодного воздуха и т. п.). При обработке результатов измерений промахи из ряда исключаются. Для определения границы между промахами и случайными погрешностями ряда измерений предложены «критерии», наз. по имени их авторов (критерий Райта, Шовене и др.). Допустимые П. и. должны учитываться при выборе метода или средства измерения для обеспечения достижения цели, ради к-рой производятся данные измерения. Допустимые П. и. могут ограничивать как возможную сумму систематич. и случайных погрешностей, так и те или др. в отдельности.

Погрешности, характеризующие достигнутую точность воспроизведения эталонов основных единиц международной системы единиц СИ: метр $\pm5\cdot10^{-9}$; килограмм $\pm1\cdot10^{-8}$ (0,01 *мг*); секунда (астрономические методы) $\pm1\cdot10^{-9}$; частота — интервалы времени $1\cdot10^{-11}$; ампер $\pm4\cdot10^{-6}$; градус (температура) при 0,1°С (273,16°К) $\pm$ 0,0002 градуса; в диапазоне 400—1200°С $\pm$0,1 градуса; в диапазоне 3000—4000°С $\pm$8 градусов; свеча $\pm$0,001. Погрешности практических измерений больше указанных значений. При сравнении двух однородных величин относительно погрешности могут быть значительно меньше, если не требуется выражать значения этих величин в установленных единицах

Лит.: Маликов М. Ф., Основы метрологии, М., 1949; Тиходеев П. М., Очерки об исходных (метрологических) измерениях, М.—Л., 1954; Романовский В. И., Основные задачи теории ошибок, М.—Л., 1947; Маликов С. Ф., Введение в технику измерений, 2 изд., М., 1952; Коротков В. П., Тайц Б. А., Основы метрологии и точности механизмов и приборов, М., 1961; Вентцель Е. С., Теория вероятностей, М., 1958; Бродский А. Д., Кан В. Л., Краткий справочник по математической обработке результатов измерений, М., 1960.

Н. И. Тюрин.

МЕЖДУНАРОДНАЯ СИСТЕМА ЕДИНИЦ СИ*

Таблица 1. Дополнительные и производные единицы системы СИ

Наименование величины	Единица измерения	Сокращенные обозначения: русские	Сокращенные обозначения: латинские или греч.	Размерность единицы
Дополнительные единицы				
Плоский угол	радиан	*рад*	rad	
Телесный угол	стерадиан	*стер*	sr	
Производные единицы				
Площадь	квадратный метр	*м²*	m^2	$(1\ м)^2$
Объем	кубический метр	*м³*	m^3	$(1\ м)^3$
Частота	герц	*гц*	Hz	1 : (1 *сек*)
Плотность (объемная масса)	килограмм на кубический метр	*кг/м³*	kg/m^3	(1 *кг*) : $(1\ м)^3$
Скорость	метр в секунду	*м/сек*	m/s	(1 *м*) : (1 *сек*)
Угловая скорость	радиан в секунду	*рад/сек*	rad/s	(1 *рад*) : (1 *сек*)
Ускорение	метр на секунду в квадрате	*м/сек²*	m/s^2	(1 *м*) : $(1\ сек)^2$
Угловое ускорение	радиан на секунду в квадрате	*рад/сек²*	rad/s^2	(1 *рад*) : $(1\ сек)^2$
Сила	ньютон	*н*	N	(1 *кг*) · (1 *м*) : $(1\ сек)^2$
Давление (механич. напряжение)	ньютон на квадратный метр	*н/м²*	N/m^2	(1 *н*) : $(1\ м)^2$
Динамич. вязкость	ньютон-секунда на квадратный метр	*н·сек/м²*	Ns/m^2	(1 *н*) · (1 *сек*) : $(1\ м)^2$
Кинематич. вязкость	квадратный метр на секунду	*м²/сек*	m^2/s	$(1\ м)^2$: (1 *сек*)
Работа, энергия, количество теплоты	джоуль	*дж*	J	(1 *н*) · (1 *м*)
Мощность	ватт	*вт*	W	(1 *дж*) : (1 *сек*)
Количество электричества, электрич. заряд	кулон	*к*	C	(1 *а*) · (1 *сек*)
Электрич. напряжение, разность электрич. потенциалов, электродвижущая сила	вольт	*в*	V	(1 *вт*) : (1 *а*)
Напряженность электрич. поля	вольт на метр	*в/м*	V/m	(1 *в*) : (1 *м*)
Электрич. сопротивление	ом	*ом*	Ω	(1 *в*) : (1 *а*)
Электрич. емкость	фарада	*ф*	F	(1 *к*) : (1 *в*)
Поток магнитной индукции	вебер	*вб*	Wb	(1 *в*) · (1 *ом*)
Индуктивность	генри	*гн*	H	(1 *вб*) : (1 *а*)
Магнитная индукция	тесла	*тл*	T	(1 *вб*) : $(1\ м)^2$
Напряженность магнитного поля	ампер на метр	*а/м*	A/m	(1 *а*) : (1 *м*)
Магнитодвижущая сила	ампер	*а*	A	(1 *а*)
Световой поток	люмен	*лм*	lm	(1 *св*) : (1 *стер*)
Яркость	свеча на квадратный метр или нит	*св/м²* или *нт*	cd/m^2 или nt	(1 *св*) : $(1\ м)^2$
Освещенность	люкс	*лк*	lx	(1 *лм*) : $(1\ м)^2$

* См. *Международная система единиц.*

Таблица 2. Перевод единиц других систем и внесистемных единиц в единицы Международной системы СИ

Наименование величины	Размерность	Единица измерения	Сокращенное обозначение	Коэфф. для приведения к единицам СИ
Плотность (объемная масса)	$L^{-3}M$	килограмм на кубич. метр	*кг/м³*	
	»	грамм на кубич. сантиметр	*г/см³*	1 *г/см³* = 1·10³ *кг/м³*
	$L^{-4}FT^2$	килограмм-сила-секунда в квадрате на метр в четвертой степени	*кгс·сек²/м⁴*	1 *кгс·сек²/м⁴* = 9,80665 *кг/м³*
Сила	LMT^{-2}	ньютон	*н*	
	»	дина	*дин*	1 *дин* = 1·10⁻⁵ *н*
	F	килограмм-сила	*кгс*	1 *кгс* = 9,80665 *н*
Удельный вес	$L^{-2}MT^{-2}$	ньютон на кубич. метр	*н/м³*	
	»	дина на кубич. сантиметр	*дин/см³*	1 *дин/см³* = 1·10 *н/м³*
	$L^{-3}F$	килограмм-сила на кубический метр	*кгс/м³*	1 *кгс/м³* = 9,80665 *н/м³*
Работа, энергия	L^2MT^{-2}	джоуль	*дж*	
	»	эрг	*эрг*	1 *эрг* = 1·10⁻⁷ *дж*
	LF	килограмм-сила-метр	*кгс·м*	1 *кгс·м* = 9,80665 *дж*
		ватт-час	*вт·ч*	1 *вт·ч* = 3,6·10³ *дж*
Мощность	L^2MT^{-3}	ватт	*вт*	
	»	эрг в секунду	*эрг/сек*	1 *эрг/сек* = 1·10⁻⁷ *вт*
	LFT^{-1}	килограмм-сила-метр в секунду	*кгс·м/сек*	1 *кгс·м/сек* = 9,80665 *вт*
		лошадиная сила	*л. с.*	1 *л. с.* = 735,499 *вт*
Давление (механич. напряжение)	$L^{-1}MT^{-2}$	ньютон на квадратный метр	*н/м²*	
	»	дина на квадратный сантиметр	*дин/см²*	1 *дин/см²* = 1·10⁻¹ *н/м²*
	$L^{-2}F$	килограмм-сила на квадратный метр	*кгс/м²*	1 *кгс/м²* = 9,80665 *н/м²*
		бар	*бар*	1 *бар* = 10⁵ *н/м²*
		миллиметр ртутного столба	*мм рт. ст.*	1 *мм рт. ст.* = 133,322 *н/м²*
		технич. атмосфера	*ат* или *кгс/см²*	1 *ат* = 9,80665·10⁴ *н/м²*
		миллиметр водяного столба	*мм вод. ст.*	1 *мм вод. ст.* = 9,80665 *н/м²*
Динамич. вязкость	$L^{-1}MT^{-1}$	ньютон-секунда на квадратный метр	*н·сек/м²*	
	»	пуаз	*пз*	1 *пз* = 0,1 *н·сек/м²*
	$L^{-2}FT$	килограмм-сила-секунда на квадратный метр	*кгс·сек/м²*	1 *кгс·сек/м²* = 9,80665 *н·сек/м²*
Кинематич. вязкость	L^2T^{-1}	квадратный метр на секунду	*м²/сек*	
	»	стокс	*ст*	1 *ст* = 1·10⁻⁴ *м²/сек*
	»	квадратный метр на секунду	*м²/сек*	

Тепловые единицы

Термодинамич. температура Температура	Θ	градус Кельвина	°К, *град*	
		градус Цельсия	°С, *град*	$t = (T - 273,15)$
Количество теплоты Термодинамич. потенциал	L^2MT^{-2}	джоуль	*дж*	
		калория	*кал*	1 *кал* = 4,1868 *дж*
		килокалория	*ккал*	1 *ккал* = 4,1868·10³ *дж*
Удельный термодинамич. потенциал Удельная теплота	L^2T^{-2}	джоуль на килограмм	*дж/кг*	
		калория на грамм	*кал/г*	1 *кал/г* = 4,1868·10³ *дж/кг*
		килокалория на килограмм	*ккал/кг*	1 *ккал/кг* = 4,1868·10³ *дж/кг*
Теплоемкость системы	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	джоуль на градус	*дж/град*	
		калория на градус	*кал/град*	1 *кал/град* = 4,1868 *дж/град*
		килокалория на градус	*ккал/град*	1 *ккал/град* = 4,1868·10³ *дж/град*
Удельная теплоемкость	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	джоуль на килограмм-градус	*дж/кг·град*	
		калория на грамм-градус	*кал/г·град*	1 *кал/г·град* = 4,1868 × 10³ *дж/кг* × *град*
		килокалория на килограмм-градус	*ккал/кг·град*	1 *ккал/кг·град* = 4,1868 × 10³ *дж/кг* × *град*

Продолжение

Наименование величины	Размерность	Единица измерения	Сокращенное обозначение	Коэфф. для приведения к единицам СИ
Энтропия системы	$L^2MT^{-2}\Theta^{-1}$	джоуль на градус Кельвина	*дж/град* К	
		калория на градус Кельвина	*кал/град* К	1 *кал/град* К = 4,1868 *дж/град* К
		килокалория на градус Кельвина	*ккал/град* К	1 *ккал/град* К = 4,1868 × 10³ *дж/град* К
Удельная энтропия	$L^2T^{-2}\Theta^{-1}$	джоуль на килограмм-градус Кельвина	*дж/кг·град* К	
		калория на грамм-градус Кельвина	*кал/г·град* К	1 *кал/г·град* К = 4,1868 × 10³ *дж/кг* × *град* К
		килокалория на килограмм-градус Кельвина	*ккал/кг·град* К	1 *ккал/кг·град* К = 4,1868 × 10³ *дж/кг* × *град* К
Тепловой поток	L^2MT^{-3}	ватт	*вт*	
		калория в секунду	*кал/сек*	1 *кал/сек* = 4,1868 *вт*
		килокалория в час	*ккал/ч*	1 *ккал/ч* = 1,1630 *вт*
Плотность теплового потока	MT^{-3}	ватт на квадратный метр	*вт/м²*	
		калория на квадратный сантиметр-секунду	*кал/см²·сек*	1 *кал/см²·сек* = 4,1868·10⁴ *вт/м²*
		килокалория на квадратный метр-час	*ккал/м²·ч*	1 *ккал/м²·ч* = 1,1630 *вт/м²*
Коэффициент теплоотдачи Коэффициент теплопередачи	$MT^{-3}\Theta^{-1}$	ватт на квадратный метр-градус	*вт/м²·град*	
		калория на квадратный сантиметр-секунду-градус	*кал/см²·сек·град*	1 *кал/см²·сек·град* = 4,1868·10⁴ *вт/м²·град*
		килокалория на квадратный метр-час-градус	*ккал/м²·ч·град*	1 *ккал/м²·ч·град* = 1,1630 *вт/м²·град*
Коэффициент теплопроводности	$LMT^{-3}\Theta^{-1}$	ватт на метр-градус	*вт/м·град*	
		калория на сантиметр-секунду-градус	*кал/см·сек·град*	1 *кал/см·сек·град* = 4,1868·10² *вт/м·град*
		килокалория на метр-час-градус	*ккал/м·ч·град*	1 *ккал/м·ч·град* = 1,1630 *вт/м·град*

Электрические и магнитные единицы

Работа и энергия	L^2MT^{-2}	джоуль	*дж*	
		электронвольт	*эв*	1 *эв* = 1,60207·10⁻¹⁹ *дж*
		килоэлектронвольт	*кэв*	1 *кэв* = 1,60207·10⁻¹⁶ *дж*
		мегаэлектронвольт	*Мэв*	1 *Мэв* = 1,60207·10⁻¹³ *дж*
Электрическая емкость	$L^{-2}M^{-1}T^4I^2$ L	фарада	*ф*	
		ед. эл. емк. СГС (сантиметр)	*см*	1 *см* = $\frac{1}{9}\cdot 10^{-11}$ *ф*
Магнитный поток	$L^2MT^{-2}I^{-1}$	вебер	*вб*	
	$L^{3/2}M^{1/2}T^{-1}$	максвелл	*мкс*	1 *мкс* = 1·10⁻⁸ *вб*
Магнитная индукция	$MT^{-2}I^{-1}$	тесла	*тл*	
	$L^{-1/2}M^{1/2}T^{-1}$	гаусс	*гс*	1 *гс* = 1·10⁻⁴ *тл*
Индуктивность и взаимная индуктивность	$L^2MT^{-2}I^{-2}$ L	генри	*гн*	
		сантиметр	*см*	1 *см* = 1·10⁻⁹ *гн*
Магнитодвижущая сила и разность магнитных потенциалов	I	ампер или ампер-виток	*а* *ав*	
	$L^{1/2}M^{1/2}T^{-1}$	гильберт	*гб*	1 *гб* = $\frac{10}{4\pi}$ *ав*
Напряженность магнитного поля	$L^{-1}I$	ампер на метр	*а/м*	
		ампер-виток на метр	*ав/м*	
	$L^{-1/2}M^{1/2}T^{-1}$	эрстед	*э*	1 *э* = $\frac{1}{4\pi}\cdot 10^3$ *ав/м*

Акустические единицы

Звуковое давление	$L^{-1}MT^{-2}$	ньютон на квадратный метр	*н/м²*	
	»	дина на квадратный сантиметр	*дин/см²*	1 *дин/см²* = 1·10⁻¹ *н/м²*

Продолжение

Наименование величины	Размерность	Единица измерения	Сокращенное обозначение	Коэфф. для приведения к единицам СИ
Акустич. сопротивление	$L^{-4}MT^{-1}$	ньютон-секунда на метр в пятой степени	*н·сек/м⁵*	
»	»	дина-секунда на сантиметр в пятой степени	*дин·сек/см⁵*	1 *дин·сек/см⁵* = $1 \cdot 10^{5}$ *н·сек/м⁵*
Механич. сопротивление	MT^{-1}	ньютон-секунда на метр	*н·сек/м*	
»	»	дина-секунда на сантиметр	*дин·сек/см*	1 *дин·сек/см* = $1 \cdot 10^{-3}$ *н·сек/м*
Интенсивность звука	MT^{-3}	ватт на квадратный метр	*вт/м²*	
»	»	эрг в секунду на квадратный сантиметр	*эрг/сек·см²*	1 *эрг/сек·см²* = $1 \cdot 10^{-3}$ *вт/м²*
Плотность звуковой энергии	$L^{-1}MT^{-2}$	джоуль на кубический метр	*дж/м³*	
»	»	эрг на кубический сантиметр	*эрг/см³*	1 *эрг/см³* = $1 \cdot 10^{-1}$ *дж/м³*
Единицы рентгеновского и гамма-излучений и радиоактивности				
Доза рентгеновского и гамма-излучений	$M^{-1}TI$	кулон на килограмм	*к/кг*	1 ед. кол. эл. СГС/г = $= {}^{1}/_{3} \cdot 10^{-5}$ *к/кг*
	$L^{3}/_{2}M^{-1}/_{2}T^{-1}$	единица количества электричества СГС на грамм	—	
		рентген	*р*	1 *р* = $2{,}57976 \cdot 10^{-4}$ *к/кг*
Мощность дозы	$M^{-1}I$	ампер на килограмм	*а/кг*	1 ед. силы тока СГС/г = $= {}^{1}/_{3} \cdot 10^{-5}$ *а/кг*
		ед. силы тока СГС на грамм	—	
		рентген в секунду	*р/сек*	1 *р/сек* = $2{,}57976 \cdot 10^{-4}$ *а/кг*
Поглощенная доза излучения	$L^{2}T^{-2}$	джоуль на килограмм	*дж/кг*	
		эрг на грамм	*эрг/г*	1 *эрг/г* = $1 \cdot 10^{-4}$ *дж/кг*
		рад	*рад*	1 *рад* = $1 \cdot 10^{-2}$ *дж/кг*
Активность радиоактивного изотопа	T^{-1}	секунда в степени минус единица	*сек⁻¹*	
		кюри	—	1 *кюри* = $3{,}7 \cdot 10^{10}$ *сек⁻¹*
Световые единицы				
Интенсивность излучения	MT^{-3}	ватт на квадратный метр	*вт/м²*	
»	»	эрг в секунду на квадратный сантиметр	*эрг/сек·см²*	1 *эрг/сек·см²* = $1 \cdot 10^{-3}$ *вт/м²*
Светность	$L^{-2}J$	люмен на квадратный метр	*лм/м²*	
»	»	радфот	*рф*	1 *рф* = 10^{4} *лм/м²*
Яркость	$L^{-2}J$	нит	*нт*	
»	»	стильб	*сб.*	1 *сб* = 10^{4} *нт*
Освещенность	$L^{-2}J$	люкс	*лк*	
»	»	фот	*ф*	1 *ф* = 10^{4} *лк*

Автоматизация производства и промышленная электроника. В 4 тт. Гл. ред. А. И. Берг и В. А. Трапезников. т. 2 М., «Советская Энциклопедия», 1963. (Энциклопедии. Словари. Справочники).
т.2.К — Погрешность измерения.
1963 528 с. с илл., 4 л. илл.

Сдано в набор 5 февраля 1963 г. Том подписан к печати 21 июня 1963 г.
Государственное научное издательство «Советская Энциклопедия». Москва, Ж-28, Покровский бульвар, д. 8.
Т-07345. 6/VI—1963 г. Формат 70×108 1/16. Объем 33,0 физич. п. л.; 45,21 усл. п. л.+вкл. 0,69 (4 вклейки глубокой печати), всего 45,90 усл. п. л., уч.-изд. л. 75,3 + вкл. 1,09, всего 76,39 уч.-издат. л.
Тираж 59 000 экз. Цена тома 2 р. 70 к. Заказ № 120.
Печать с матриц, изготовленных в Первой Образцовой типографии им. А. А. Жданова

Московская типография № 2 Мосгорсовнархоза, Москва, Проспект Мира, 105. Заказ 2667